

# Rapport **CCNUCC** éd. 2025

## Rapport National d'Inventaire pour la France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

1990-2023

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
*Liberté
Égalité
Fraternité*

Citepa

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
*Liberté*
*Égalité*
*Fraternité*

Citepa

# Rapport National d'Inventaire pour la France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

## Mars 2025

| ***Rédaction*** | |
|---|---|
| Rôle | *Noms* |
| Rédacteurs principaux | Mélanie JUILLARD, Fanny JOUBERT |
| Contributeurs (Citepa) | Jean-Marc ANDRE, Stéphanie BARRAULT, Quentin BEDRUNE, Romain BORT, Tamara BRAISH, Jean-Pierre CHANG, Benjamin CUNIASSE, Etienne DELORT, Ariane DRUART, Anaïs DURAND, Lisa GRELLIER, Coralie JEANNOT, Rania KAMAR, Etienne MATHIAS, Vincent MAZIN, Adrien MERCIER, Sophie MOUKHTAR, Mathis PASTORELLI, Natalia SIRINA-LEBOINE, Corentin VANCAYSEELE, Thamara VIEIRA DA ROCHA, Julien VINCENT |

| ***Vérification*** | | |
|---|---|---|
| Rôle | *Nom, Fonction* | *Date* |
| Vérification | Citepa : Différents chefs de départements et d'unités<br>DGEC (MTECT) : Nolwenn BROSSIER, Alban GRANIER, Alec BICKERSTETH, Manon NAGY, Elisabeth PAGNAC-FARBIAZ | 14/03/2025 |
| Approbation finale | Citepa : Etienne MATHIAS | 14/03/2025 |

Pour citer ce document :

Citepa, 2025. Rapport CCNUCC

© Citepa 2025

Ce Rapport a été réalisé avec la participation financière du Ministère chargé de l'Environnement.

Ce document constitue le rapport national d'inventaire au titre de la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques, édition mars 2025.

Cette édition annule et remplace toutes les éditions antérieures relatives au même format d'inventaire.

Rapport n°2590 CRT/ 2025 | CCNUCC_France_2025.doc

Ce rapport national d'inventaire au titre de la convention cadre sur les changements climatiques est disponible sur le site Internet du Citepa, à la page suivante :

https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/ccnucc

Pour obtenir une version papier ou des éléments contenus dans ce rapport :

Citepa 42, rue de Paradis | 75010 Paris | +33 1 44 83 68 83 | citepa.org

www.citepa.org | contact@citepa.org

# SOMMAIRE

Table des figures ..... 11

Table des tableaux ..... 16

Préambule ..... 24

**Résumé** ..... 25

**Summary** ..... 25

1. Système national et informations transversales ..... 29

1.1 Généralités sur les inventaires de gaz à effet de serre et les changements climatiques ..... 30

1.2 Système national d'inventaire ..... 33

1.2.1 Dispositions institutionnelles, législatives et procédurales ..... 33
1.2.2 Planification, préparation et management ..... 35
1.2.3 Dispositions opérationnelles, collecte des données, traitement et archivage ..... 36
1.2.4 Processus d'approbation officielle des inventaires ..... 43

1.3 Généralités sur les méthodes et les sources de données utilisées ..... 43

1.3.1 Principes méthodologiques ..... 44
1.3.2 Méthodes de calculs et facteurs d'émission utilisés ..... 46
1.3.3 Cohérence entre l'inventaire CCNUCC et les déclarations au titre du SEQE ..... 48

1.4 Catégories clés ..... 49

1.4.1 Analyse Tier 1 ..... 49
1.4.2 Analyse Tier 2 ..... 51
1.4.3 Vue d'ensemble des sources clés ..... 52

1.5 Plan et mise en œuvre du contrôle et assurance qualité ..... 55

1.6 Évaluation des incertitudes ..... 59

1.7 Exhaustivité des inventaires ..... 61

1.8 Métriques utilisées (MPG paragraphe 37) ..... 75

1.9 Mécanismes de flexibilité utilisés (MPG paragraphes 4-6) ..... 75

2. EVOLUTION DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE ..... 76

2.1 Évolution globale des émissions de gaz à effet de serre ..... 77

2.1.1 Évolution en France – périmètre France UE ..... 77
2.1.2 Particularités des émissions de la Métropole et des territoires Outre-mer inclus dans l'UE ..... 80
2.1.3 Évolutions des émissions au titre de la Convention ..... 81
2.1.4 Évolution des émissions par gaz à effet de serre direct ..... 83
2.1.5 Évolution des émissions des gaz à effet de serre indirect ..... 88
2.1.6 Évolution des émissions des GES en Outre-mer hors UE (PTOM) ..... 89

2.2 Évolution des émissions par sources émettrices ..... 89

3. ENERGIE (CRT 1) ..... 104

3.1 Présentation générale du secteur ..... 105

3.2 Consommation de combustibles (CRT 1A) ..... 112

3.2.1 Comparaison de l'approche sectorielle avec l'approche de référence ..... 112
3.2.2 Soutes internationales ..... 120
3.2.3 Usages non énergétiques des combustibles ..... 125
3.2.4 Caractéristiques communes pour la combustion (1A) ..... 127
3.2.5 Industrie de l'énergie (1A1) ..... 136
3.2.6 Industrie manufacturière (1A2) ..... 154
3.2.7 Transports (1A3) ..... 191
3.2.8 Autres secteurs (1A4) ..... 252
3.2.9 Non spécifiés (1A5) ..... 263

3.3 Émissions fugitives des combustibles (CRT 1B) ..... 267

3.3.1 Combustibles solides (1B1) ..... 267

3.3.2 Combustibles liquides et gaz naturel (1B2) ..... 272
3.4 Transport et stockage de $CO_2$ (CRT 1C) ..... 285
3.4.1 Injection et stockage (CRT 1C2) ..... 285
4. PROCEDES INDUSTRIELS (CRT 2) ..... 286
4.1 Présentation générale du secteur ..... 287
4.2 Produits minéraux (CRT 2A) ..... 288
4.2.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 288
4.2.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 294
4.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 303
4.2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 304
4.2.5 Recalculs ..... 304
4.2.6 Améliorations envisagées ..... 305
4.3 Chimie (CRT 2B) ..... 306
4.3.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 306
4.3.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 311
4.3.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 321
4.3.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 322
4.3.5 Recalculs ..... 322
4.3.6 Améliorations envisagées ..... 324
4.4 Métallurgie (CRT 2C) ..... 325
4.4.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 325
4.4.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 331
4.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 338
4.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 338
4.4.5 Recalculs ..... 340
4.4.6 Améliorations envisagées ..... 341
4.5 Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants (CRT 2D) ..... 342
4.5.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 342
4.5.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 343
4.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 347
4.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 348
4.5.5 Recalculs ..... 348
4.5.6 Améliorations envisagées ..... 349
4.6 Industrie électronique (CRT 2E) ..... 350
4.6.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 350
4.6.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 350
4.6.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 351
4.6.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 351
4.6.5 Recalculs ..... 351
4.6.6 Améliorations envisagées ..... 352
4.7 Consommations d'halocarbures et SF6 (CRT 2F) ..... 353
4.7.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 353
4.7.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 361
4.7.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 419
4.7.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 419
4.7.5 Recalculs ..... 420
4.7.6 Améliorations envisagées ..... 420
4.8 Autres usages et fabrication de produits (CRT 2G) ..... 421
4.8.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 421
4.8.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 423
4.8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 427
4.8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 427
4.8.5 Recalculs ..... 428
4.8.6 Suivi des recommandations des revues ..... 428
4.8.7 Améliorations envisagées ..... 430
4.9 Autres procédés (CRT 2H) ..... 431
4.9.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 431

4.9.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 431
4.9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 432
4.9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 432
4.9.5 Recalculs ..... 432
4.9.6 Améliorations envisagées ..... 432
5. AGRICULTURE (CRT 3) ..... 433
5.1 Présentation générale du secteur ..... 434
5.2 Fermentation entérique (3A) ..... 483
5.2.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 483
5.2.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 484
5.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 490
5.2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 491
5.2.5 Recalculs ..... 495
5.2.6 Suivi des recommandations des revues ..... 496
5.2.7 Améliorations envisagées ..... 497
5.3 Gestion des déjections (3B) ..... 498
5.3.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 498
5.3.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 501
5.3.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 517
5.3.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 518
5.3.5 Recalculs ..... 521
5.3.6 Suivi des recommandations des revues ..... 522
5.3.7 Améliorations envisagées ..... 523
5.4 Culture du riz (3C) ..... 524
5.4.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 524
5.4.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 524
5.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 526
5.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 526
5.4.5 Recalculs ..... 526
5.4.6 Améliorations envisagées ..... 527
5.5 Sols agricoles (3D) ..... 528
5.5.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 528
5.5.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 532
5.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 541
5.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 542
5.5.5 Recalculs ..... 542
5.5.6 Améliorations envisagées ..... 543
5.6 Brûlage de résidus agricoles (3F) ..... 544
5.6.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 544
5.6.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 544
5.6.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 545
5.6.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 545
5.6.5 Recalculs ..... 545
5.6.6 Améliorations envisagées ..... 545
5.7 Chaulage des terres (3G) ..... 547
5.7.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 547
5.7.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 547
5.7.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 548
5.7.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 548
5.7.5 Recalculs ..... 548
5.7.6 Améliorations envisagées ..... 549
5.8 Épandage d'urée minérale (3H) ..... 550
5.8.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 550
5.8.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 550
5.8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 551
5.8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 551
5.8.5 Recalculs ..... 551
5.8.6 Améliorations envisagées ..... 551

5.9 Épandage d'engrais contenant du carbone (3I) ..... 552
5.9.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 552
5.9.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 552
5.9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 553
5.9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 553
5.9.5 Recalculs ..... 553
5.9.6 Améliorations envisagées ..... 553
6. UTCATF (CRT 4) ..... 554
6.1 Présentation générale du secteur ..... 555
6.2 Définitions des types de terres ..... 562
6.2.1 Forêts ..... 562
6.2.2 Cultures ..... 562
6.2.3 Prairies ..... 564
6.2.4 Zones humides ..... 564
6.2.5 Zones artificialisées ou Etablissements ..... 565
6.2.6 Autres terres ..... 566
6.2.7 Produits bois ou « produit ligneux récoltés (PLR) » ..... 566
6.2.8 Autres ..... 566
6.3 Description des méthodes et données utilisées ..... 566
6.3.1 Méthodes génériques ..... 566
6.3.2 Suivi des recommandations des revues ..... 598
6.3.3 Améliorations envisagées ..... 599
6.3.4 Incertitudes ..... 600
6.3.5 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 601
6.4 Forêts (CRT 4A) ..... 603
6.4.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 603
6.4.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 605
6.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 634
6.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 634
6.4.5 Recalculs ..... 637
6.4.6 Améliorations envisagées ..... 638
6.5 Cultures (CRT 4B) ..... 640
6.5.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 640
6.5.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 641
6.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 649
6.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 649
6.5.5 Recalculs ..... 649
6.5.6 Suivi des recommandations des revues ..... 650
6.5.7 Améliorations envisagées ..... 650
6.6 Prairies (CRT 4C) ..... 652
6.6.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 652
6.6.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 653
6.6.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 660
6.6.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 660
6.6.5 Recalculs ..... 660
6.6.6 Améliorations envisagées ..... 661
6.7 Zones humides (CRT 4D) ..... 662
6.7.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 662
6.7.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 663
6.7.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 667
6.7.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 668
6.7.5 Recalculs ..... 668
6.7.6 Suivi des recommandations des revues ..... 668
6.7.7 Améliorations envisagées ..... 669
6.8 Zones artificialisées ou Etablissements (CRT 4E) ..... 670
6.8.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 670
6.8.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 671
6.8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 675

6.8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 676
6.8.5 Recalculs ..... 676
6.8.6 Suivi des recommandations des revues ..... 676
6.8.7 Améliorations envisagées ..... 676
6.9 Autres terres (CRT 4F) ..... 678
6.9.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 678
6.9.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 679
6.9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 682
6.9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 682
6.9.5 Recalculs ..... 682
6.9.6 Améliorations envisagées ..... 683
6.10 Produits bois (CRT 4G) ..... 684
6.10.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 684
6.10.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 684
6.10.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 690
6.10.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 690
6.10.5 Recalculs ..... 690
6.10.6 Suivi des recommandations des revues ..... 691
6.10.7 Améliorations envisagées ..... 691
6.11 Autres (CRT 4H) ..... 692
6.11.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 692
6.11.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 692
6.11.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 693
6.11.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 693
6.11.5 Recalculs ..... 693
6.11.6 Améliorations envisagées ..... 693
7. DECHETS (CRT 5) ..... 694
7.1 Présentation générale du secteur ..... 695
7.2 Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) (5A) ..... 702
7.2.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 702
7.2.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 705
7.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 715
7.2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 716
7.2.5 Recalculs ..... 716
7.2.6 Suivi des recommandations des revues ..... 717
7.2.7 Améliorations envisagées ..... 717
7.3 Traitement biologique (5B) ..... 718
7.3.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 718
7.3.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 718
7.3.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 723
7.3.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 723
7.3.5 Recalculs ..... 723
7.3.6 Améliorations envisagées ..... 724
7.4 Incinération des déchets (5C) ..... 725
7.4.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 726
7.4.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 731
7.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 736
7.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 737
7.4.5 Recalculs ..... 737
7.4.6 Suivi des recommandations des revues ..... 738
7.4.7 Améliorations envisagées ..... 738
7.5 Traitement des eaux (5D) ..... 739
7.5.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 739
7.5.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 741
7.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 751
7.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 751
7.5.5 Recalculs ..... 751
7.5.6 Suivi des recommandations des revues ..... 753

7.5.7 Améliorations envisagées ..... 754
8. AUTRES ..... 755
8.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 755
8.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 755
8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 755
8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 755
8.5 Recalculs ..... 755
8.6 Améliorations envisagées ..... 756
9. EMISSIONS INDIRECTES DE $CO_2$ ET $N_2O$ ..... 757
9.1 Caractéristiques de la catégorie ..... 757
9.2 Méthode d'estimation des émissions ..... 757
9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ..... 757
9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ..... 757
9.5 Recalculs ..... 757
9.6 Améliorations envisagées ..... 757
10. RECALCULS ET AMELIORATIONS ..... 758
10.1 Explications et justifications concernant les nouveaux calculs ..... 759
10.2 Incidences sur les niveaux d'émissions ..... 760
10.3 Incidences sur l'évolution d'émissions ..... 762
10.4 Améliorations transversales envisagées ..... 763
Références ..... 884

# Table des figures

Figure 1 : Schéma organisationnel simplifié ..... 36
Figure 2 : Schéma opérationnel simplifié du système d'inventaire ..... 39
Figure 3 : Choix des méthodologies ..... 40
Figure 4 : Typologie des sources au regard de l'utilisation de l'énergie ..... 46
Figure 5 : Dispositions mises en œuvre pour l'assurance qualité ..... 57
Figure 6 : Schéma du contrôle et de l'assurance qualité de l'inventaire français ..... 58
Figure 7 : Carte de la France (Métropole et Outre-mer) ..... 62
Figure 8 : Variations des émissions totales hors UTCATF au cours de la période 1990-2023 en France (Périmètre France UE) ..... 77
Figure 9 : Contribution des différents gaz à effet de serre aux émissions totales hors UTCATF en 1990 et 2023 pour la France (périmètre France UE) ..... 78
Figure 10 : Évolution des émissions hors UTCATF par habitant entre 1990 et 2023 (périmètre France UE) ..... 80
Tableau 16 et Figure 11 : coefficient de rigueur (Métropole) ..... 84
Figure 12 : Variations des émissions de gaz à effet de serre direct hors UTCATF au cours de la période 1990-2023 en France (périmètre France UE) ..... 87
Figure 13 : Consommation d'énergie primaire en France métropolitaine (non corrigée du climat, en cumulé) ..... 106
Figure 14 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer (non corrigée du climat, en cumulé) ..... 108
Figure 15 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer au périmètre France UE (non corrigée du climat, en cumulé) ..... 110
Figure 16 : logigramme de détermination des ratios de ventes de soutes maritimes à destination des trafics domestiques et internationaux ..... 122
Figure 17: Consommations de combustibles de la catégorie 1A1a (périmètre France UE) ..... 136
Figure 18: Mix de combustibles des centrales thermiques de production d'électricité (périmètre France UE) ..... 137
Figure 19 : Évolution du des combustibles utilisés par les installations de chauffage urbain (périmètre France UE) ..... 140
Figure 20 : Parc français des installations d'incinération des ordures ménagères ..... 140
Figure 21 : Brut traité dans les raffineries en France métropolitaine et Martinique (Périmètre France UE) ..... 142
Figure 22 : Combustibles consommés pour le raffinage du pétrole (périmètre France UE) ..... 142
Figure 23 : Production de coke en France (périmètre France UE) ..... 144
Figure 24 : Quantité de déchets (kt) non dangereux incinérés avec et sans récupération d'énergie (Métropole et outre-mer inclus dans l'UE) ..... 146
Figure 25 : Composition des déchets incinérés en UIDND (yc déchets industriels, hors boues) en Métropole ..... 148
Figure 26 : Évolution de la consommation de combustibles par sous-catégorie de l'industrie manufacturière (périmètre UE) (non corrigée du climat, en cumulé) ..... 155
Figure 27 : Evolution de la consommation d'énergie par combustible dans l'industrie manufacturière en France – (périmètre UE) (non corrigée du climat, en cumulé) ..... 156
Figure 28 : Détail des combustibles « solides » (1er graphique) et « liquides » (second graphique) consommés dans l'industrie manufacturière en France – Périmètre UE ..... 157
Figure 29 : Production de produits en fonte (périmètre UE) ..... 159
Figure 30 : Représentation schématique des processus de production d'acier, selon les filières haut-fourneau et four électrique ..... 160
Figure 31 : Production d'aluminium de seconde fusion (périmètre UE) ..... 163
Figure 32 : Périmètres des sources relatives aux bilans énergétiques ..... 170
Figure 33 : Périmètres relatifs aux combustibles dans les bilans énergétiques ..... 171
Figure 34 : Logigramme du processus d'estimation des consommations d'énergie en France métropolitaine ..... 172
Figure 35 : Répartition des flux de combustibles et matières des installations sidérurgiques et des émissions de $CO_2$ associées ..... 176
Figure 36 : Consommation des différents modes de transports sur la période 1990 – 2023 et répartition (hors international) en 2023 (y compris agro-carburants) (Périmètre France UE) ..... 191
Figure 37 : Emissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile domestique (périmètre France UE) ..... 194
Figure 38 : Emissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile internationale (périmètre France UE) ..... 195
Figure 39 : Consommations de carburants de l'aviation civile touchant la Métropole et l'Outre-mer ..... 195
Figure 40 : Trafic domestique en millions de passagers.km ..... 196
Figure 41 : Trafic international en milliers de passagers ..... 197
Figure 42 : Emissions de gaz à effet de serre du transport routier en France métropolitaine et en Outre-mer (périmètre France UE) ..... 199
Figure 43 : Prix des carburants à la pompe (Métropole) ..... 199
Figure 44 : Vitesses moyennes par réseaux tous véhicules (Métropole) ..... 201
Figure 45 : Consommations des différents carburants du transport routier sur la période 1990 – 2022 et répartition en 1990 et 2022 (y compris agro-carburants) (Périmètre France UE) ..... 202
Figure 46 : Taux de diésélisation du parc des véhicules particuliers en France ..... 202

Figure 47 : Taux d'incorporation d'agro-carburants en France métropolitaine ..... 203
Figure 48 : Consommations d'énergies (y compris agro-carburants) du transport ferroviaire en France métropolitaine ..... 210
Figure 49 : Emissions de gaz à effet de serre du transport ferroviaire en France métropolitaine ..... 211
Figure 50 : Trafics ferroviaires de passagers (en Milliard de passagers x kilomètres) et de marchandises (en Milliard de tonnes x kilomètres) ..... 211
Figure 51 : logigramme de détermination des ratios de ventes de soutes maritimes à destination des trafics domestiques et internationaux ..... 213
Figure 52 : ratios moyens de puissance entre les moteurs 2 temps et 4 temps par type de carburant ..... 216
Figure 53 : Emissions de gaz à effet de serre du transport maritime domestique (périmètre France UE) ..... 217
Figure 54 : Emissions de gaz à effet de serre du transport maritime international (hors total) ..... 218
Figure 55 : Consommations d'énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime domestique et international ..... 218
Figure 56 : Consommations des différentes énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime domestique (1.A.3.d.) ..... 219
Figure 57 : Consommations des différentes énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime international (1.D.) ..... 219
Figure 58 : Répartition des tonnesxkilomètres du transport fluvial de marchandises entre la partie domestique et internationale ..... 220
Figure 59 : Consommations de gaz naturel dans les stations de compressions en France métropolitaine et en Outre-mer ..... 221
Figure 60 : Emissions de gaz à effet de serre émises par les stations de compression (périmètre France UE) ..... 221
Figure 61 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du secteur aérien ..... 222
Figure 62 : Evolutions des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre du transport aérien domestique (périmètre France UE) ..... 223
Figure 63 : Evolutions des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre du transport aérien international (hors total) ..... 223
Figure 64 : Logigramme du processus de calcul du parc de véhicules français avec le modèle OPALE. ..... 226
Figure 65 : Logigramme du processus d'estimation des données nécessaires calcul des émissions par le modèle COPERT. ..... 228
Figure 66 : Parc statique (Nombre) des véhicules routiers en Métropole ..... 230
Figure 67 : logigramme de processus d'estimation des émissions par le modèle COPERT ..... 231
Figure 68 : Kilométrage moyen des véhicules routiers en Métropole ..... 232
Figure 69 : Parc roulant (Md véhiculesxkilomètre) des véhicules routiers en Métropole ..... 232
Figure 70 : Parc roulant (Md véhiculesxkilomètre) des véhicules routiers en Outre-mer (y compris PTOM) ..... 233
Figure 71 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) du transport routier ..... 234
Figure 72 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du ferroviaire. ..... 236
Figure 73 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) du transport ferroviaire ..... 237
Figure 74 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du trafic maritime. ..... 237
Figure 75 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du fluvial et de la plaisance. ..... 239
Figure 76 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) du transport maritime domestique ..... 240
Figure 77 : Evolution des facteurs d'émission de GES du transport maritime international ..... 240
Figure 78 : Logigramme du processus d'estimation des émissions des stations de compression. ..... 241
Figure 79 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) des stations de compression ..... 242
Figure 80 : Comparaison entre les consommations théoriques du modèle et les ventes totales françaises de carburants ..... 242
Figure 81 : Comparaison entre les consommations de carburants du routier sur le territoire et les ventes/livraisons à usage routier (en métropole) ..... 245
Figure 82 : Distributions des émissions de $CO_2$, $CH_4$ et $N_2O$ du transport routier ..... 247
Figure 83 : Schéma de la méthodologie de calcul des incertitudes des émissions GES du transport routier ..... 248
Figure 84 : Comparaison de la consommation des carburants du trafic domestique avec les hypothèses de l'édition de mars 2024 et les hypothèses de l'édition de mars 2025. ..... 250
Figure 85 : Consommation de combustibles dans les différents sous-secteurs (Périmètre France UE) ..... 252
Figure 86 : Répartition des combustibles dans les sous-secteurs en 2023 (Périmètre France UE) ..... 253
Figure 87 : Logigramme du processus d'estimation des émissions de la pêche ..... 257
Figure 88 : Extraction de pétrole (périmètre France UE) ..... 272
Figure 89 : Extraction de gaz naturel (périmètre France UE) ..... 273
Figure 90 : Longueur de réseau du gaz naturel en France (périmètre France UE) ..... 274
Figure 91 : Schéma de la méthodologie d'estimation des émissions fugitives de gaz naturel ..... 280
Figure 92 : Productions des principaux produits minéraux en France (périmètre UE) depuis 1990 ..... 288
Figure 93 : Principales productions de l'industrie chimique ..... 306
Figure 94 : Représentation schématique des processus de production d'acier, selon les filières haut-fourneau et four électrique ..... 325
Figure 95 : Production de fonte brute en France (périmètre UE) ..... 327
Figure 96 : Production d'acier en France – périmètre UE ..... 328
Figure 97 : Production de ferroalliages en France (périmètre UE) ..... 329
Figure 98 : Production d'aluminium par électrolyse en France (périmètre UE) ..... 330
Figure 99 : Répartition des flux de combustibles et matières des installations sidérurgiques et des émissions de $CO_2$ associées ..... 332
Figure 100 : Récapitulatif des données d'émissions pour les GES ..... 336
Figure 101 : Répartition sectorielle des émissions $CO_2$ équivalentes de gaz fluorés en 2023 (France métropolitaine) ..... 353

Figure 102 : Répartition sectorielle des émissions $CO_2$ équivalentes de gaz fluorés en 2023 hors secteur climatisation/réfrigération (France métropolitaine) ....353
Figure 103 : Evolution des émissions de gaz fluorés de 1990 à 2023 (France métropolitaine, en Gg CO2e) ....354
Figure 104 : Distribution des émissions de HFC en $CO_2$e du CRT 2F1 en 2023 (périmètre France UE) ....355
Figure 105 : Contribution des secteurs aux émissions de HFC en $CO_2$e de la catégorie CRT 2F1 en 2023 (périmètre France UE) ....357
Figure 106 : Évolution du besoin en HFC pour les équipements neufs (périmètre France UE) ....358
Figure 107 : Évolution de la banque, soit des quantités de gaz contenues dans les équipements en fonctionnement (périmètre France UE) ....358
Figure 108 : Equation du calcul des émissions de HFC à la charge (source : IPCC 2006) ....363
Figure 109 : Schéma de la méthodologie d'estimation des émissions à la charge (2F1) ....364
Figure 110 : Evolution des fluides frigorigènes utilisés sur le marché neuf des réfrigérateurs domestiques ....372
Figure 111 – Courbe de fin de vie cars et bus (Durée de vie moyenne de 15 ans) ....375
Figure 112 : Evolution du taux de climatisation automobile en France métropole (en %) ....376
Figure 113 : Charge moyenne de réfrigérant par véhicule (VP & VUL) ....377
Figure 114 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes de climatisation des véhicules particuliers et utilitaires légers mis sur le marché. ....378
Figure 115 : Facteur d'émission au cours de la durée de vie des véhicules (en %) ....380
Figure 116 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les véhicules frigorifiques utilitaires. ....385
Figure 117 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les camions frigorifiques semi-remorques ....386
Figure 118 – Répartition des surfaces d'entrepôts frigorifiques en France – Insee 2012 ....388
Figure 119 – Ratio de charge équivalent – Exemple de l'industrie laitière et de l'industrie de la viande ....390
Figure 120 – Répartition des fluides frigorigènes utilisés en agroalimentaire – exemple de l'industrie du lait ....391
Figure 121 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes splits ....399
Figure 122 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les chillers de type volumétrique de moyenne puissance ....400
Figure 123 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les pompes à chaleur air/eau ....401
Figure 124 : Facteur d'émission à la charge (en %) ....402
Figure 125 : Facteur d'émission pendant la durée de vie – climatisation fixe (en %) ....403
Figure 126 : Facteur d'émission pendant la durée de vie – chillers (en %) ....403
Figure 127 : Facteur d'émission pendant la durée de vie – pompe à chaleur (en %) ....404
Figure 128 : Efficacité de récupération (en %) ....405
Figure 129 – Ratios de charge surfaciques en super et hypermarchés ....407
Figure 130 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés en hypermarchés ....409
Figure 131 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés en supermarchés ....410
**Figure 132 : Facteur d'émission à l'usage en froid commercial (en %)** ....411
Figure 133 : Facteurs d'émission fin de vie en froid commercial (en %) ....412
Figure 134: Postes d'émission et polluants associés en agriculture ....435
Figure 135: Evolution des émissions de $CH_4$ (kt) du secteur agricole - Périmètre UE ....436
Figure 136 : Evolution des émissions de $N_2O$ (kt) du secteur agricole - Périmètre UE ....436
Figure 137 : Récapitulatif des méthodes d'ajustement de la statistique agricole annuelle (SAA) ....438
Figure 138 : Evolution des cheptels bovins au périmètre UE ....443
Figure 139 : Evolution des cheptels porcins au périmètre UE ....444
Figure 140 : Evolution des cheptels ovins et caprins au périmètre UE ....445
Figure 141 : Evolution des cheptels équins au périmètre UE ....445
Figure 142 : Evolution des cheptels poules et poulets au périmètre UE ....446
Figure 143 : Evolution des cheptels autres volailles et lapines au périmètre UE ....446
Figure 144 : Répartition entre types d'effluents pour les bovins (périmètre UE) ....448
Figure 145 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE) ....449
Figure 146 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE) ....450
Figure 147 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE) ....451
Figure 148 : Evolution du nombre de sites de méthanisation agricole en France ....451
Figure 149 : Estimation des quantités d'intrants alimentant les méthaniseurs agricoles en France. Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME... ....453
Figure 150 : Estimation des rations moyennes des méthaniseurs agricoles par ancienne région (avant réforme 2016) pour l'année la plus récente – Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME ....454
Figure 151 : Evolution des places méthanisées en bovins et porcins ....456
Figure 152 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE) ....457
Figure 153 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE) ....458
Figure 154 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture ....460
Figure 155. Carte des climats Giec 2019 centrée sur la France ....475
Figure 156. Estimation de la répartition de la fertilisation minérale azotée en 2023. Source : Citepa d'après enquêtes pratiques culturales 2021, SAA ....477

Figure 157 : Evolution des apports moyens en azote minéral sur blé tendre au niveau métropole (incluant les parcelles non fertilisées) .....480
Figure 158 : Évolution des superficies cultivées des principales cultures en France métropolitaine – Source : Agreste - SAA .....480
Figure 159 : Évolution des superficies fourragères en France métropolitaine – Source : Agreste – SAA .....480
Figure 160 : Évolution des surfaces de culture dans les DROM.....481
Figure 161 : Répartition estimée des superficies cultivées dans les PTOM en 2023 (en hectares) .....482
Figure 162 : Evolution et répartition des émissions de $CH_4$ (kt) de la fermentation entérique par catégorie animale (Périmètre UE).....483
Figure 163 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de $CH_4$ de la fermentation entérique par tête par an par catégorie animale.....484
Figure 164 : Schéma récapitulatif de l'évaluation du $CH_4$ entérique par la méthode MONDFERENT II.....487
Figure 165 : Evolution et répartition des émissions de $CH_4$ (kt) de la gestion des déjections par catégorie animale (Périmètre UE).....498
Figure 166 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de $CH_4$ de la gestion des déjections par tête par an par catégorie animale.....499
Figure 167 : Evolution et répartition des émissions de $N_2O$ (kt) de la gestion des déjections par catégorie animale (Périmètre UE) .....500
Figure 168 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de $N_2O$ de la gestion des déjections par tête par an et par catégorie animale.....500
Figure 169 : Suivi de l'azote en gestion liquide .....506
Figure 170 : Suivi de l'azote en gestion solide .....507
Figure 171 : Suivi de l'azote en gestion liquide avec méthanisation .....507
Figure 172: Suivi de l'azote en gestion solide avec méthanisation .....508
Figure 173 : Évolution et répartition des émissions de $N_2O$ (kt) des sols agricoles (Périmètre UE).....528
Figure 174 : Moyenne lissée sur deux campagnes des quantités d'azote livrées issues des engrais minéraux épandus en Métropole (1 000 tN) .....529
Figure 175 : Quantités d'azote issues des engrais minéraux épandues en Outre-mer (tN) .....530
Figure 176 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF pour la métropole et l'Outre-mer (UE) .....559
Figure 177 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF par catégorie CRT .....559
Figure 178: Principe général du suivi des terres et du modèle de calcul carbone associé (modèle de variation de stock à la maille) .....569
Figure 179 : Aperçu de la grille (mailles de 50 m*50 m soit 0,25 ha) .....570
Figure 180: Schéma récapitulatif du protocole de création d'une série temporelle d'utilisation des terres (module général).....573
Figure 181 : Part des produits utilisés pour déterminer l'usage de référence des centroïdes après intersection et application de la hiérarchie des produits .....574
Figure 182 : Exemple de zone urbaine créée par le module artificialisation, et divisée en polygones par date d'artificialisation .....575
Figure 183 : Identification des zones avec un fort taux d'artificialisation à partir du modèle de suivi des terres par maille .....577
**Figure 184 : Représentation des 3 strates d'échantillonnage pour le suivi des terres en Guyane français** .....578
Figure 185 : Présentation schématique des différents compartiments carbone considérés pour le calcul .....585
Figure 186 : Stocks de carbone (tC/ha) en biomasse vivante aérienne de type forêt pour les principaux types de peuplements par sylvoécorégion en métropole (Source : Citepa à partir des données IGN campagne 2016-2020 [594]) .....588
Figure 187 : Résultats méthode Citepa haies, flux moyens pour la période inventaire (1990-2022) .....591
Figure 188: Stocks bois mort (tC/ha) pour les principaux types de peuplements par sylvoécorégion en métropole (Source : Citepa à partir des données IGN campagne 2016-2020 [594]) .....592
Figure 189 : Stocks litière (tC/ha) pour les principaux types de peuplements par sylvoécorégion (Source : stocks par essence Renecofor [1275] et surfaces par type d'essence IGN campagne 2018-2022 [594]).....593
Figure 190 : Cartographie des zones pédologiques (basée sur la texture des sols) complétée en métropole [719].....594
Figure 191 : Cartographie des zones climatiques [722] .....595
Figure 192 : Cartographie des zones pédoclimatiques.....596
Figure 193 : Incertitudes sur la biomasse forestière : exemples sur les années 2012-2015.....600
Figure 194 : Parties prenantes impliquées dans le processus d'élaboration de l'inventaire UTCATF .....602
Figure 195 : Surfaces et Emissions / Absorptions en forêt .....603
Figure 196 : Schéma récapitulatif des flux et stocks de carbone pour la forêt .....606
Figure 197 : Carte des interrégions IGN .....609
Figure 198 : Evolution des trois composantes principales du puits forestiers : accroissement, mortalité et prélèvements en forêt totale (métropole) (Source : voir détail parties précédentes) .....613
Figure 199: Représentation schématique de la méthode (dite « modèle ») d'estimation des émissions liées aux récoltes de bois).....620
Figure 200 : Conversion de volumes de bois commercialisés en carbone.....621
Figure 201 : Représentation de l'ajustement sur la base des données de prélèvement direct issues de l'IFN (en tC aérien et racinaire) 622
Figure 202 : Explications recalage Récoltes Citepa sur les prélèvements IGN.....623
Figure 203 : Représentation de l'évolution des stocks de carbone suite à une tempête.....624
Figure 204 : Méthodologie utilisée pour la reconstitution des surfaces incendiées en forêt depuis 1990. .....626
Figure 205 : Synthèse des compartiments carbone estimés dans le calcul feux de forêt.....628
Figure 206 : Exemple de conversion d'un maquis en forêt et flux de carbone estimés par le modèle de variation de stock à la maille pour l'ensemble des compartiments .....632
Figure 207 : Surfaces et Emissions / Absorptions en cultures.....640

Figure 208 : Exemple d'évolution du stock de référence liés aux pratiques culturales pour les cultures de blé tendre .....647
Figure 209 : Surfaces et Emissions / Absorptions en prairies .....652
Figure 210 : Evolution du stock de référence lié aux pratiques culturales pour les prairies (métropole) .....659
Figure 211 : Surfaces et Emissions / Absorptions en zones humides .....662
Figure 212 : Surfaces et Emissions / Absorptions en zones urbanisées .....670
Figure 213 : Surfaces et Emissions / Absorptions en autres terres .....678
Figure 214 : Vision d'ensemble des flux utilisés dans la méthode .....690
Figure 215 : Emissions de $CH_4$ et de $CO_2$ dues au barrage de Petit-Saut en Guyane .....692
Figure 216 : Contribution relative des secteurs d'activité en France (2020) à la production de déchets .....696
Figure 217 : Parc français (en nombre) des installations d'incinération des ordures ménagères (gauche) et de stockage de déchets non dangereux (droite) .....697
Figure 218 : Bilan des tonnages entrant dans les ITOM en 2022 (source : ITOM 2024, ADEME) .....698
Figure 219 : Evolution des quantités de déchets ménagers et assimilés traitées par filière de traitement en kt – périmètre UE .....700
Figure 220 : Evolution de la quantité de déchets municipaux par filière de traitement centralisées (Périmètre France UE) .....701
Figure 221 : Parc français (en nombre) des installations de stockage de déchets non dangereux selon l'enquête ITOM en 2022 .....703
Figure 222 : Evolution des quantités de déchets non dangereux stockés en ISDND en kt en France (périmètre UE) .....704
Figure 223 : Evolution des quantités de déchets non dangereux stockés en ISDND en kt dans les territoires ultramarins inclus dans l'UE .....707
Figure 224 : OMR. Composition en pourcentage massique (après ventilation des éléments fins) : comparaison entre 1993 et 2017 .....709
Figure 225 : Quantités de déchets compostés (Mg) et émissions de $CH_4$ associées (Mg) .....721
Figure 226 : Quantités de déchets compostés (Mg) et émissions de $N_2O$ associées (Mg) .....723
Figure 227 : Evolution des quantités cumulées de déchets incinérés et brûlés selon leur type (en kt) – (Périmètre UE) .....726
Figure 228 : Quantité de déchets (kt) non dangereux incinérés avec et sans récupération d'énergie (Métropole et outre-mer inclus dans l'UE) .....727
Figure 229 : Parc français (en nombre) des installations d'incinération de déchets non dangereux selon l'enquête ITOM en 2022 .....728
Figure 230 : Evolution de la pratique de l'incinération en France (Métropole) .....730
Figure 231 : Répartition des feux de véhicules par catégorie en 2022 .....731
Figure 232 : Répartition de la population par type de traitement/rejet des eaux usées domestiques en Métropole en 2023 .....740
Figure 233 : Pollution traitée par système en Métropole .....740
Figure 234 : Emissions de $CH_4$ et de $N_2O$ associées au traitement et au relargage des eaux usées domestiques .....742
Figure 235 : Potentiel d'émission de CH4 et de N2O pour les systèmes de traitement et de rejet des eaux usées domestiques .....743
Figure 236 : Répartition des méthodes de traitement des eaux usées domestique dans les départements d'outre-mer .....745
Figure 237 : Potentiel d'émission de $CH_4$ et de $N_2O$ pour les systèmes de traitement et de rejet des eaux usées industrielles .....746
Figure 238 : Réactions de transformation de l'azote par nitrification et dénitrification .....748
Figure 239 : Emissions de N2O (Mg) liées au traitement et au relargage des eaux usées industrielles France métropolitaine (SNAP 091001 / CRT 5D2) .....752
Figure 240 : Emissions de N2O (Mg) liées au traitement et au relargage des eaux usées domestiques en France métropolitaine (SNAP 091002 / CRT 5D2) .....752
Figure 241 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les bovins .....799
Figure 242 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les porcins .....800
Figure 243 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les ovins .....800
Figure 244 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les caprins .....801
Figure 245 : Illustration fictive du retraitement des données effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage .....802
Figure 246 : Exemple – Evolution des besoins journaliers en UFL par semaine d'une primipare mise bas septembre sur l'année, avec un rendement laitier d'environ 6000 kg lait/an. .....810
Figure 247 : Composition de la ration moyenne vache laitière France sur l'année .....810
Figure 248 : tMS/UGB/an par grand système (CIV, 2012) .....814
Figure 249 : Schéma comparatif de la méthode de la méthode MONDFERENT I (vert) avec la méthode Giec 2019 (rouge) .....815
Figure 250 : Illustration fictive du retraitement des données de traitement de l'air en bâtiments porcins effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage .....816
Figure 251. Epandages de TAN selon le matériel d'épandage et le type d'effluents pour les pendillards .....823
Figure 252. Répartition des élevages selon le type d'équipement des salles de traite – source : [980] .....826
Figure 253. Fonction de voyage pour une tonne à lisier d'une capacité inférieure à 12000 litres .....828
Figure 254. Fonction de survie ajustée aux données Cuma .....829
Figure 255. Estimation de la répartition des volumes d'effluents liquides épandus par type de matériel pour l'année 2021 .....830
Figure 256. Volume d'effluents liquides épandus en 2021, selon la propriété du matériel – source : Citepa d'après FNCUMA, ETA et étude du gisement .....831
Figure 257. Etapes de calcul pour estimer les modes d'épandages des effluents organiques liquides dans l'inventaire Citepa à partir de l'année 2021 .....832

# Table des tableaux


Tableau 1 : Résumé des émissions de gaz à effet de serre en France (périmètre France UE)[f] ..... 27
Tableau 2 : Annexe II de l'arrêté du 24 août 2011 relatif au système national d'inventaires d'émissions et de bilans dans l'atmosphère . 34
Tableau 3 : Principaux formats de rapportage produits par le SNIEBA ..... 38
Tableau 4 : Présentation des différents référentiels utilisés ..... 40
Tableau 5 : Données collectées et leurs sources ..... 41
Tableau 6 : Résumé des méthodologies de calculs et des facteurs d'émission employés par secteur ..... 46
Tableau 7 : Résumé des sources clés en 1990 avec et hors UTCATF ..... 53
Tableau 8 : Résumé des sources clés en 2023 avec et hors UTCATF ..... 54
Tableau 9 : Relation entre les bonnes pratiques du GIEC et les éléments du SMQ ..... 58
Tableau 10 : Couverture géographique de la France au regard des divers inventaires d'émissions ..... 61
Tableau 11 : Paramètres socio-économiques de la France ..... 62
Tableau 12 : Liste des sources couvertes par la notation « NE » en 2023 ..... 64
Tableau 13 : Liste des sources couvertes par la notation « IE » en 2023 ..... 65
Tableau 14 : Émissions de gaz à effet de serre en France (Périmètre France UE)[d] ..... 79
Tableau 15 : Émissions des gaz à effet de serre en France (France entière) ..... 82
Tableau 16 et Figure 11 : coefficient de rigueur (Métropole) ..... 84
Tableau 17 : Émissions détaillées des HFC et PFC en France (Périmètre France UE)[f] ..... 88
Tableau 18bis : Émissions des gaz à effet de serre des PTOM (Outre-mer hors UE) ..... 89
Tableau 19 : Contribution des catégories GIEC aux émissions de gaz à effet de serre hors UTCATF en France en 2022 (Périmètre France UE) ..... 90
Tableau 20 : Émissions de $CO_2$ en France par catégorie CRT (Périmètre France UE) ..... 91
Tableau 21 : Émissions de $CH_4$ en France par catégorie CRT ..... 92
Tableau 22 : Émissions de $N_2O$ en France par catégorie CRT ..... 93
Tableau 23 : Émissions de HFC en France par catégorie CRT ..... 94
Tableau 24 : Émissions de PFC en France par catégorie CRT ..... 94
Tableau 25 : Émissions de $SF_6$ en France par catégorie CRT ..... 95
Tableau 26 : Émissions de $NF_3$ en France par catégorie CRT ..... 95
Tableau 27 : Émissions de $SO_2$ en France par catégorie CRT ..... 96
Tableau 28 : Émissions de $NO_x$ en France par catégorie CRT ..... 97
Tableau 29 : Émissions de COVNM en France par catégorie CRT ..... 98
Tableau 30 : Émissions de CO en France par catégorie CRT ..... 99
Tableau 31 : Contribution du trafic intra et hors Union européenne aux émissions de $CO_2$ du trafic international aérien relatif à la France ..... 103
Tableau 32 : Correspondance des secteurs bilan de l'énergie français / CRT ..... 106
Tableau 33 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer (non corrigée du climat) ..... 109
Tableau 34 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer au périmètre France UE (non corrigée du climat) ..... 110
Tableau 35 : Émissions de gaz à effet de serre du secteur de l'énergie ..... 111
Tableau 36 : Comparaison des émissions de $CO_2$ de l'approche de référence et de l'approche sectorielle – périmètre France UE ..... 113
Tableau 37 : Comparaison des consommations et des émissions de combustibles liquides entre les approches de référence et sectorielle, avec ou sans considération des écarts statistiques des bilans de l'énergie ..... 115
Tableau 38 : Comparaison des consommations de combustibles liquides entre les approches de référence et sectorielle, avec ou sans considération des écarts statistiques des bilans de l'énergie et sans considération des données provenant de sources différentes du bilan de l'énergie ..... 116
Tableau 39: Comparaison des consommations et des émissions de combustibles solides entre les approches de référence et sectorielle, avec ou sans considération des écarts statistiques des bilans de l'énergie ..... 117
Tableau 40 : Comparaison des consommations de gaz naturel entre les approches de référence et sectorielle, avec ou sans considération des écarts statistiques des bilans de l'énergie, et avec ou sans considération des écarts dues aux pertes de distribution ..... 118
Tableau 41 : Comparaison des consommations et émissions des autres combustibles fossiles entre les approches de référence et sectorielle ..... 118
Tableau 42 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord est une SECA. ..... 122
Tableau 43 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années à partir de 2015 ..... 123
Tableau 44 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord n'est pas une SECA. ..... 123
Tableau 45 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années de 2010 à 2014 ..... 123

Tableau 46 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord n'est pas une SECA, que les navires restant plus de 2 h à quai ne changent pas de carburant. ....123
Tableau 47 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années avant 2010 ....124
Tableau 48 : Equivalence des unités d'énergie courantes....127
Tableau 49 : Nomenclature des combustibles et PCI associés....127
Tableau 50 : facteurs d'émission $CO_2$ utilisés dans les inventaires d'émission nationaux....130
Tableau 51 : Evolution du taux moyen national de biométhane (NAPFUE 31B) dans le gaz de réseau, en %, depuis 1990 ....131
Tableau 52 : Ratios moyens des teneurs en H, C et O, mesurés pour l'essence et le gazole, selon la saison ....132
Tableau 53 : Evolution temporelle de la répartition des agro-carburants mis à la consommation entre 2005 et 2022, pour l'essence ...134
Tableau 54 : Evolution temporelle de la répartition des agro-carburants mis à la consommation entre 2005 et 2023, pour le gazole ....134
Tableau 55 : Evolution temporelle de la répartition des agro-carburants mis à la consommation entre 2005 et 2023, pour le kérosène 134
Tableau 56 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1a est source clé en 2023 (hors UTCATF)....136
Tableau 57 : Production brute et consommation d'électricité sur le périmètre France UE ....137
Tableau 58 : Production du chauffage urbain en Métropole....139
Tableau 59 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1b est source clé en 2023 (hors UTCATF)....141
Tableau 60 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1c est source clé en 2023 (hors UTCATF)....143
Tableau 61 : Facteurs d'émission de $N_2O$ associés à l'incinération de déchets ménagers (g $N_2O$/Mg de déchets)....148
Tableau 62 : Substances pour lesquelles le secteur 1A2 est source clé en 2023 (hors UTCATF) ....154
Tableau 63 : Consommation d'énergie finale dans les sous-secteurs de l'industrie manufacturière par type de combustible en 1990 et 2023 – périmètre UE ....154
Tableau 64 : Sous-secteurs du système d'inventaire....171
Tableau 65 : Facteurs d'émission du $CH_4$ par gamme et par norme d'engin ....174
Tableau 66 : Substances pour lesquelles le secteur 1.A.3 est source clé en 2022 (hors UTCATF*, périmètre France UE) ....191
Tableau 67 : Prise en compte des émissions en fonction des liaisons et des phases de vol....192
Tableau 68 : Consommations des différents combustibles et de l'huile en France métropolitaine. ....208
Tableau 69 : Consommations des différents combustibles et de l'huile en Outre-mer. ....209
Tableau 70 : Répartition des consommations pour l'Outre-mer entre les DOM (périmètre France UE) et les autres territoires (COM)....209
Tableau 71 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord est une SECA. ....214
Tableau 72 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années à partir de 2015 ....215
Tableau 73 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord n'est pas une SECA. ....215
Tableau 74 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années de 2010 à 2014....215
Tableau 75 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord n'est pas une SECA, que les navires restant plus de 2 h à quai ne changent pas de carburant. ....215
Tableau 76 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années avant 2010 ....216
Tableau 77 : Facteurs d'émission de $CO_2$ selon les combustibles (en g/kg)....234
Tableau 78 : Substances et combustibles pour lesquelles le secteur 1A4 est source clé en 2023 (hors UTCATF) ....254
Tableau 79 : Facteurs d'émission $CH_4$ des appareils domestiques au bois ....259
Tableau 80 : Facteurs d'émission du $CH_4$ par gamme et par norme d'engin diesel ....260
Tableau 81 : Substances pour lesquelles le secteur 1A5 est source clé en 2023 (hors UTCATF) ....263
Tableau 82 : Répartition des consommations par phase de l'aviation....264
Tableau 83 : Substances pour lesquelles le secteur 1B est source clé en 2023 (hors UTCATF) ....267
Tableau 84 : Facteurs d'émission de $CO_2$ et $CH_4$ pour les émissions fugitives et les évents pour l'extraction de pétrole brut (en kt/1000 $m^3$) ....277
Tableau 85 : Facteurs d'émission de COVNM, $CO_2$ et $CH_4$ pour les émissions fugitives pour le transport et le stockage de pétrole brut 277
Tableau 86 : Evolution de la composition massique moyenne du gaz naturel, entre 1990 et 2023 ....280
Tableau 87 : Facteurs d'émission de GES pour l'extraction de pétrole (en kt/1000 $m^3$ et kg/PJ) ....282
Tableau 88 : Émissions de gaz à effet de serre des Procédés industriels (périmètre UE)....287
Tableau 89 : Substances pour lesquelles le secteur 2A est source clé en 2023 (hors UTCATF) ....289
Tableau 90 : production de clinker aluminate (uniquement en France métropolitaine) en kt ....294
Tableau 91 : Production des autres types de clinker (uniquement en France métropolitaine) (kt) ....295
Tableau 92 : Méthodes mises en œuvre pour le calcul des émissions de $CO_2$ du secteur de la production de ciment....296
Tableau 93 : Part des différentes sources d'émission dans le facteur d'émission induit du $CO_2$ pour la décarbonatation dans le secteur du ciment....296
Tableau 94 : Méthodes de calcul des émissions de $CO_2$ pour la chaux hydraulique ....297
Tableau 95 : Part de la production de chaux hydraulique dans la production nationale (%) ....297
Tableau 96 : Niveau de méthodologie déployé dans l'estimation des émissions de $CO_2$ pour la production de chaux aérienne et magnésienne ....299
Tableau 97 : Facteur d'émission de $CO_2$ pour la production de chaux aérienne et magnésienne (en kg/t chaux) ....299
Tableau 98 : Part de la production de chaux vive dans la production nationale (%) ....299
Tableau 99 : Nombre d'installations produisant de la chaux (hydraulique et autre) et nature des données utilisées ....300

Tableau 100 : Part de la production de chaux produite en sucreries dans la production nationale (%) ..... 301
Tableau 101 : Substances pour lesquelles le secteur 2B est source clé en 2023 (hors UTCATF) ..... 306
Tableau 102 : Substances pour lesquelles les secteurs du 2C sont sources clé en 2023 (hors UTCATF) ..... 325
Tableau 103 : Comparaison des facteurs d'émission $CO_2$ de l'inventaire avec les lignes directrices du GIEC 2006 ..... 339
Tableau 104 : Facteurs d'émission $CO_2$ - GIEC 2006 – Tier 1 ..... 339
Tableau 105 : Facteur d'émission $CO_2$ nationaux pour la production de ferroalliages en métropole ..... 339
Tableau 106 : Evolution des facteurs d'émission de GES pour le CRT 2C3 en comparaison à celui des lignes directrices du GIEC 2006 339
Tableau 107 : Substances pour lesquelles le secteur 2D est source clé en 2023 (hors UTCATF) ..... 342
Tableau 108 : Evolution des consommations de lubrifiants 2 temps et 4 temps, en France métropolitaine et dans les Outre-mer inclus dans l'UE, entre 1990 et 2023 ..... 344
Tableau 109 : Substances pour lesquelles le secteur 2F1 est source clé en 2023 (hors UTCATF) ..... 355
Tableau 110 : Composition et PRG (4ème et 5ème AR) des principaux mélanges de HFCs ..... 357
Tableau 111 : Utilisation des types de HFC selon le secteur d'application ..... 359
Tableau 112 : Lieu de charge des équipements ..... 365
Tableau 113 : Liste des données d'activité et paramètres associés selon les types d'émission (CRT 2F1) ..... 369
Tableau 114 : Nombre d'équipements des applications domestiques, pour l'année 2023 ..... 370
Tableau 115 : Ratios de charge (en kg/l) et volumes moyens (en l) des réfrigérateurs et congélateurs, en 2023 ..... 371
Tableau 116 : Facteurs d'émission (en % de fluide chargé) à la charge, pour les applications domestiques, en 2023 ..... 372
Tableau 117 : Hypothèses liées à la maintenance de la climatisation embarquée, par type de véhicule ..... 374
Tableau 118 : Nombre de véhicules, par type, équipés d'une climatisation embarquée, pour l'année 2023 ..... 375
Tableau 119 : Niveaux moyens de charge nominale, par type de véhicule, en 2023 (en kg) ..... 377
Tableau 120 : Facteurs d'émission à la charge pour la climatisation embarquée, par type de véhicule, en 2023 (en %) ..... 379
Tableau 121 : Facteurs d'émission fugitive pour la climatisation embarquée, par type de véhicule, en 2023 (en %) ..... 379
Tableau 122 : Paramètres retenus pour l'équation de calcul des facteurs d'émission pendant le fonctionnement des véhicules (source : GIEC 2006) ..... 380
Tableau 123 : Facteurs d'émission de fin de vie pour la climatisation embarquée, par type de véhicule, en 2023 ..... 381
Tableau 124 : Hypothèses liées à la maintenance dans le transport frigorifique, par type d'équipement ..... 382
Tableau 125 : Nombre d'équipements du transport frigorifique, pour l'année 2023 ..... 383
Tableau 126 : Evolution des niveaux moyens de charge nominale du transport frigorifique routier (en kg) ..... 384
Tableau 127 : Evolution des niveaux moyens de charge nominale du transport frigorifique maritime ..... 384
Tableau 128 : Facteurs d'émission à la charge pour le transport frigorifique, en 2023 ..... 386
Tableau 129 : Facteurs d'émission fugitive pour le transport frigorifique, par type d'équipement, en 2023 ..... 387
Tableau 130 : Facteurs d'émission de fin de vie pour le transport frigorifique, par type d'équipement, en 2023 ..... 387
Tableau 131 : Ratios caractéristiques pris en compte pour le calcul du froid industriel, selon le produit ou l'équipement ..... 389
Tableau 132 : Facteurs d'émission à la charge pour le froid industriel, en 2023 ..... 391
Tableau 133 : Facteurs d'émission fugitive pour le froid industriel, par type d'application, en 2023 ..... 391
Tableau 134 : Facteurs d'émission de fin de vie pour le froid industriel, par type d'application, en 2023 ..... 392
Tableau 135 : Récapitulatif des modes de charge des équipements de la climatisation stationnaire ..... 393
Tableau 136 : Récapitulatif des modes de maintenance des équipements de la climatisation stationnaire ..... 394
Tableau 137 : Durées de vie moyennes des équipements de la climatisation stationnaire ..... 394
Tableau 138 : Récapitulatif des modes de charge des équipements de la climatisation à air ..... 396
Tableau 139 : Niveaux de charge moyenne des équipements de climatisation stationnaire, en 2023 (en kg) ..... 398
Tableau 140 : Gammes de puissance des équipements de la climatisation stationnaire (en kW) ..... 398
Tableau 141 : Hypothèses liées à la maintenance des équipements du secteur du froid commercial ..... 406
Tableau 142 : Niveaux de charge de référence des équipements du secteur du froid commercial (en kg) ..... 408
Tableau 143 : Facteur d'émission à la charge par sous-application sur 3 années ..... 412
Tableau 144 : Facteur d'émission durée de vie par sous-application sur 3 années ..... 414
Tableau 145 : Facteur d'émission fin de vie par sous-application sur 3 années ..... 415
Tableau 146 : Sources des facteurs d'émission par sous-application des mousses ..... 417
Tableau 147 : Sources et données d'activités par sous-application des mousses ..... 417
Tableau 148 : Bilan des méthodes de détermination des consommations de produits utilisés dans les centrales thermiques ..... 423
Tableau 149 : Émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture ..... 435
Tableau 150 : Substances pour lesquelles le secteur CRT 3 est source clé en 2023 (hors UTCATF) ..... 437
Tableau 151 : Correspondances entre anciennes et nouvelles régions ..... 437
Tableau 152 : Correspondances entre les catégories SAA et les catégories de l'inventaire pour les porcins ..... 439
Tableau 153 : Evolution du cheptel porcin détaillée par catégories fines (Métropole uniquement) ..... 440
Tableau 154 : Catégories et sous-catégories de l'inventaire ..... 441
Tableau 155 : Cheptels bovins, porcins, ovins et caprins (nombre de têtes) au périmètre UE sur la période d'inventaire ..... 441
Tableau 156 : Cheptels équins, volailles et lapines au périmètre UE sur la période 1990-2023 ..... 442
Tableau 157 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins (périmètre UE) ..... 448
Tableau 158 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE) ..... 448
Tableau 159 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE) ..... 449

Tableau 160 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE) ..... 450
Tableau 161 : Sources de données régionales mobilisées pour l'estimation des quantités d'intrants méthanisés ..... 452
Tableau 162. Teneur en azote retenue pour les effluents d'élevage de l'inventaire ..... 455
Tableau 163 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE) ..... 457
Tableau 164 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE) ..... 458
Tableau 165 : Principales teneurs en azote des intrants méthanisés ..... 458
Tableau 166 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture ..... 460
Tableau 167 : Récapitulatif des sources de pondération et retraitements effectués pour estimer l'azote excrété des volailles ..... 462
Tableau 168 : Récapitulatif des sources utilisées pour le calcul des facteurs d'excrétion azotée ..... 467
Tableau 169 : Evolution des Fex en métropole par catégorie animale détaillée (kg N/tête/an) ..... 467
Tableau 170 : Evolution des Fex au périmètre UE par catégorie animale agrégée (kg N/tête/an) ..... 468
Tableau 171 : Paramètres utilisés pour l'estimation des SV des équins ..... 471
Tableau 172 : Paramètres utilisés pour l'estimation des SV des volailles ..... 472
Tableau 173 : Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV ..... 473
Tableau 174. Répartition des surfaces en hectares selon la zone climatique en Métropole ..... 476
Tableau 175 : Répartition des surfaces en pourcentages selon la zone climatique en Métropole ..... 476
Tableau 176. Répartition des surfaces en pourcentages selon la zone climatique en Outre-Mer ..... 477
Tableau 177. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2021 ..... 479
Tableau 178. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2021 et en 2017 pour les prairies ..... 479
Tableau 179 : Récapitulatif des méthodes d'estimation du $CH_4$ entérique ..... 484
Tableau 180 : Récapitulatif des facteurs d'émission $CH_4$ entérique et paramètres associés ..... 489
Tableau 181 : Paramètres et sources associées pour le calcul du $CH_4$ entérique des bovins avec la méthode Giec 2019 ..... 491
Tableau 182 : Paramètres et sources associées pour le calcul du $CH_4$ entérique des ovins et caprins avec la méthode Giec 2019 ..... 492
Tableau 183 : Comparaison des facteurs d'émission (FE) $CH_4$ entérique – MONDFERENT I et II / Giec 2019 ..... 493
Tableau 184 : Comparaison des EB - MONDFERENT I et II / Giec 2019 ..... 493
Tableau 185 : Comparaison des Ym - MONDFERENT I et II / Giec 2019 ..... 494
Tableau 186 : Comparaison des FE nationaux aux FE Tiers 1 du Giec 2019 ..... 495
Tableau 187 : Paramètres Bo utilisés dans l'inventaire ..... 502
Tableau 188 : Correspondances FCM et systèmes de gestion ..... 502
Tableau 189 : Valeurs de FCM retenues selon les climats ..... 503
Tableau 190 : Correspondances facteurs d'émission et systèmes de gestion ..... 504
Tableau 191 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion ..... 505
Tableau 192 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion ..... 506
Tableau 193 : Tableau récapitulatif des proportions de TAN utilisées par catégorie animale ..... 509
Tableau 194 : Facteurs d'émission de N-NH3 au bâtiment ..... 510
Tableau 195 : Facteurs d'émission de N-$NH_3$ au stockage ..... 511
Tableau 196 : Facteurs d'ajustement ($FA_{i,m}$) liés aux pratiques d'épandage ..... 515
Tableau 197 : Facteurs d'émission de N-NH3 à l'épandage ..... 515
Tableau 198 : Facteurs d'émission de N-NH3 à la pâture ..... 517
Tableau 199 : Comparaison des SV – MONDFERENT I et II / Giec 2019 ..... 519
Tableau 200 : Comparaison des Fex – MONDFERENT I et II / Giec 2019 ..... 521
Tableau 201. Récapitulatif des paramètres utilisés pour le calcul des facteurs d'émission du riz* ..... 525
Tableau 202 : Surfaces de riziculture pour la métropole, la Guyane et Mayotte ..... 525
Tableau 203. Fertilisation azotée par culture en Outre-Mer ..... 530
Tableau 204. Facteur d'émission des émissions de $N_2O$ (kgN-$N_2O$/kgN) pour 2023 ..... 534
Tableau 205. Facteurs d'émission des histosols cultivés - kg N-$N_2O$/ha/an - source : IPCC (2013) [1193] ..... 534
Tableau 206 : Fractions de l'azote épandu qui se volatilise sous forme de $NH_3$ et de NOx, utilisées dans le calcul des émissions de $N_2O$ des sols – périmètre UE ..... 535
Tableau 207 : Azote apporté aux sols cultivés par source en Métropole (tonnes d'azote) ..... 537
Tableau 208: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE (tonnes d'azote) ..... 537
Tableau 209: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d'Outre-mer non inclus dans l'UE (tonnes d'azote) ..... 538
Tableau 210 : Facteurs d'émission de $NH_3$ pour les engrais minéraux ..... 540
Tableau 211 : Répartition des amendements carbonés ..... 547
Tableau 212 : Détails relatifs au suivi des terres (*land representation*) ..... 555
Tableau 213 : Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour le CO2 (France métropolitaine) ..... 556
Tableau 214 : Lien entre le niveau de détail du modèle et les exigences de tier ..... 557
Tableau 215: Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour l'Outre-Mer (inclus dans l'UE) ..... 557
Tableau 216 : Catégories du secteur UTCATF estimées (O = Oui / N = Non) dans l'inventaire français ..... 558
Tableau 217 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF pour la métropole et l'Outre-mer (UE) ..... 560

Tableau 218 : Substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en niveau (2023) ....560
Tableau 219 : Substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en tendance (1990-2023) ....560
Tableau 220 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Terres Forestières ....562
Tableau 221 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Terres Cultivées ....563
Tableau 222: Extrait de la nomenclature pour la catégorie Prairies ....564
Tableau 223 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Zones humides ....565
Tableau 224 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Etablissements ....565
Tableau 225 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Autres Terres ....566
Tableau 226 : Sources d'information utilisées pour le suivi des terres en fonction du territoire ....568
Tableau 227 : Caractéristiques des différents produits cartographiques utilisés pour le modèle multisource (métropole) ....570
Tableau 228 : Nomenclature détaillée utilisée dans l'inventaire UTCATF de la France (métropole) ....571
Tableau 229 : Exemple de matrice de transition pour la création de rotations agricoles ....576
Tableau 230 : Illustration du protocole d'estimation des surfaces à partir des surfaces de l'année 2007 ....578
Tableau 231 : Représentativité d'un point d'enquête dans chaque strate [673] ....579
Tableau 232 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Guyane (ha) ....581
Tableau 233 : Matrice 2008-2012 produite par les travaux de photo-interprétation en Guyane (ha) ....581
Tableau 234 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Guadeloupe (ha) ....581
Tableau 235 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Martinique (ha) ....581
Tableau 236 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation pour La Réunion (ha) ....581
Tableau 237 : Matrice 1989-2009 produite en combinant plusieurs sources d'information pour Mayotte (ha) ....582
Tableau 238 : Matrice 1989-2009 produite sur la base de données ESA CCI-LC pour Saint Martin (ha) ....582
Tableau 239 : Compartiments carbone pris en compte (métropole) ....584
Tableau 240 : Illustration de la routine de calcul du modèle de variation de stock par maille. ....586
Tableau 241 : Rappel des types de biomasse pris en compte pour le calcul ....586
Tableau 242: : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne en Outre-mer (peuplements forestiers) ....587
Tableau 243 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante racinaire en Outre-mer (peuplements forestiers) ....587
Tableau 244 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne hors forêt (Outre-Mer) ....587
Tableau 245 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante type forêt (métropole) ....588
Tableau 246 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante type cultures pérennes (métropole) ....589
Tableau 247 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante herbacée (type cultures annuelles et type herbe) (métropole) ....589
Tableau 248 : Stocks de carbone (tC/ha) dans le bois mort des terres forestières ....591
Tableau 249 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment bois mort (métropole) ....592
Tableau 250: Stocks de carbone dans les couches hologaniques (réseau de mesure Renecofor) ....592
Tableau 251 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la litière des terres forestières ....593
Tableau 252 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment litière (métropole) ....593
Tableau 253 : Flux appliqués aux différentes catégories d'usage dans le modèle de variation par mailles ....595
Tableau 254 : Stocks de carbone de référence pour les sols par région ou zone pédoclimatique ....596
Tableau 255 : Facteurs d'ajustement liés à l'utilisation des terres par type d'usage et zone climatique (Giec 2019) ....596
Tableau 256: Facteurs d'ajustement liés au régime de gestion et aux apports par zone climatique (Giec 2019) ....597
Tableau 257 : Stocks de référence des sols dans les territoires d'Outre-mer. ....598
Tableau 258 : Paramètres de calcul pour les sols organiques (histosols) drainés. ....598
Tableau 259 : Incertitudes en UTCATF ....601
Tableau 260 : Surfaces en forêt (en milliers d'ha) ....604
Tableau 261 : Emissions / Absorptions en forêt (en $ktCO_2e$) ....604
Tableau 262 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille ....606
Tableau 263 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ....607
Tableau 264 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ....607
Tableau 265 : Campagnes de l'inventaire forestier national fournies par l'IGN utilisées dans l'inventaire UTCATF (métropole) ....609
Tableau 266 : Mortalité annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN en métropole (exemple pour l'année 2007) ....611
Tableau 267 : Paramètres et bilan pour la biomasse forestière totale en métropole (ktC/an) ....612
Tableau 268 : Récoltes de bois matériau et bois énergie en Métropole depuis 1990 fournies par le SSP [200] et le bilan de l'énergie [1] 619
Tableau 269 : Facteurs d'expansion utilisés pour les prélèvements de bois matériau ....621
Tableau 270 : Infradensité utilisées pour les principales essences [598] ....621
Tableau 271 : Données forestières pour les départements d'Outre-mer ....623
Tableau 272 : Surfaces incendiées en France depuis 1990 ....626
Tableau 273: Stocks par compartiment et type de surface brûlée utilisés pour le calcul des émissions liées aux feux de forêts ....628
Tableau 274 : Facteurs de combustion par compartiment carbone en fonction des surfaces incendiées ....628

Tableau 275 : Stocks de bois mort issus utilisés pour le calcul des flux en forêt restant forêt – transmission spécifique de l'IGN à partir de la méthodologie IGD 4.5 [1350] ..... 630
Tableau 276 : Surface de forêt par DOM (ha) ..... 634
Tableau 277 : Paramètres d'accroissement de la biomasse forestière. ..... 635
Tableau 278 : Résultats intermédiaires pour l'accroissement en Outre-Mer ..... 635
Tableau 279 : Résultats intermédiaires pour les prélèvements en Outre-Mer ..... 636
Tableau 280 : Bilan d'émission des forêts des DOM (tCO2) ..... 637
Tableau 281 : Surfaces en cultures (en milliers d'ha) ..... 640
Tableau 282 : Emissions / Absorptions en cultures (en ktCO$_2$e) ..... 641
Tableau 283 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 643
Tableau 284 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 644
Tableau 285 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 644
Tableau 286 : Part du régime de gestion (%RG$_{i,x}$) issu des pratiques culturales pour les différents types de cultures [485] (métropole) .646
Tableau 287 : Protocole d'allocation entre les catégories Giec ..... 647
Tableau 288 : Part du régime d'apport (%A$_{i,x}$) issu des pratiques culturales pour les différents types de cultures [485] (métropole) ..... 647
Tableau 289 : Surfaces en prairies (en milliers d'ha) ..... 652
Tableau 290 : Emissions / Absorptions en prairies (en kt CO$_2$e) ..... 653
Tableau 291 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 655
Tableau 292 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 656
Tableau 293 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 656
Tableau 294 : Protocole d'allocation entre les catégories Giec ..... 658
Tableau 295 : Part du régime de gestion et d'apport issu des pratiques culturales pour les prairies [485] (métropole) ..... 659
Tableau 296 : Surfaces en zones humides (en milliers d'ha) ..... 662
Tableau 297 : Emissions / Absorptions en zones humides (en ktCO$_2$e) ..... 663
Tableau 298 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 665
Tableau 299 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 666
Tableau 300 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 666
Tableau 301 : Surfaces en zones urbanisées (en milliers d'ha) ..... 670
Tableau 302 : Emissions / Absorptions en zones urbanisées (en ktCO$_2$e) ..... 671
Tableau 303 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 673
Tableau 304 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 673
Tableau 305 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 674
Tableau 306 : Surfaces en autres terres (en milliers d'ha) ..... 678
Tableau 307 : Emissions / Absorptions en autres terres (en ktCO$_2$e) ..... 679
Tableau 308 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories des Autres terres, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 681
Tableau 309 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories des Autres terres, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole) ..... 681
Tableau 310 : Emissions /absorptions pour les produits bois (ktCO$_2$e) ..... 684
Tableau 311 : Principales sources de données pour les Produits Ligneux Récoltés ..... 685
Tableau 312 : Durées de demi-vie des produits bois ..... 686
Tableau 313 : Production de produits bois issus des prélèvements intérieurs ..... 687
Tableau 314 : Fin de vie des produits bois issus des prélèvements intérieurs ..... 688
Tableau 315 : Production de déchets en France métropolitaine 2018 – 2020 (source : SDES) ..... 695
Tableau 316 : Traitement de déchets en France métropolitaine 2018 - 2020 (source : SDES) ..... 696
Tableau 317 : Émissions de gaz à effet de serre des DECHETS (CRT 5) ..... 702
Tableau 318 : Substances pour lesquelles le secteur 5A est source clé en 2023 (hors UTCATF) ..... 702
Tableau 319 : Composition des ordures ménagères entre 1993 et 2017 ..... 709
Tableau 320 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 1993 ..... 710
Tableau 321 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 2007 ..... 710

Tableau 322 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 2017 .....710
Tableau 323 : Composition des déchets stockés en installation de stockage recevant des déchets ménagers (y.c. déchets industriels, hors boues) en Métropole .....712
Tableau 324 : Historique du facteur d'oxydation des sites contrôlés non compactés .....714
Tableau 325 : Substances pour lesquelles le secteur 5B est source clé en 2023 (hors UTCATF) .....718
Tableau 326 : Quantité de déchets compostés entre France (Gg) .....719
Tableau 327 : Quantité de déchets méthanisés entre France (Gg) .....719
Tableau 328 : Facteurs d'émission du méthane (g $CH_4$/t) du compostage industriel .....720
Tableau 329 : Facteurs d'émission du méthane (g $CH_4$/t) du compostage domestique .....720
Tableau 330 : Facteurs d'émission du méthane (g $CH_4$/t) de la méthanisation .....721
Tableau 331 : Taux d'humidité moyen (%) par type de déchets .....721
Tableau 332 : Facteurs d'émission du protoxyde d'azote (g $N_2O$/t) du compostage industriel .....722
Tableau 333 : Facteurs d'émission du protoxyde d'azote (g $N_2O$/t) du compostage domestique .....722
Tableau 334 : Substances pour lesquelles le secteur 5C est source clé en 2023 (hors UTCATF) .....725
Tableau 335 : Composition des déchets incinérés en UIDND (y.c déchets industriels, hors boues) en Métropole .....732
Tableau 336 : Facteurs d'émission de $N_2O$ associés à l'incinération de déchets ménagers (g $N_2O$/Mg de déchets) .....733
Tableau 337 : Facteurs d'émission de $CO_2$ associés à l'incinération de déchets ménagers (kg $CO_2$/Mg de déchets) .....733
Tableau 338 : Facteurs d'émission de $CH_4$ associés à l'incinération de déchets ménagers (g $CH_4$/Mg de déchets) .....734
Tableau 339 : Facteurs d'émission de $N_2O$ associés à l'incinération de déchets ménagers (g $N_2O$/Mg de déchets) .....734
Tableau 340 : Quantité de déchets verts gérés en gestion domestique (Métropole et DOM) en Gg: .....735
Tableau 341 : Part du brûlage dans la gestion domestique (Métropole et DOM) en % .....735
Tableau 342 : Quantité de déchets verts gérés en gestion domestique et brûlés (Métropole) en Gg .....735
Tableau 343 : Substances pour lesquelles le secteur 5D est source clé en 2023 (hors UTCATF) .....739
Tableau 344 : Répartition du type de traitement des eaux usées domestiques en Métropole .....740
Tableau 345 : Evolution de la consommation journalière de protéines d'un habitant en France métropolitaine .....741
Tableau 346 : Demande Chimique en Oxygène (DCO) des industries de l'agroalimentaire (IAA) traitée par lagunage naturel .....747
Tableau 347 : Quantité de boues méthanisées en STEU industrielles .....748
Tableau 348 : Rejets d'azote des eaux industrielles vers des STEU (Mg N/an) .....750
Tableau 349 : Rejets d'azote des eaux industrielles vers les milieux naturels (Mg N/an) .....750
Tableau 350 : Ajout des émissions de $N_2O$ liées aux changements méthodologiques par rapport aux émissions (hors UTCATF) de $N_2O$ rapportées dans l'inventaire édition 2024 .....752
Tableau 351 : Résumé des modifications des descriptions méthodologiques et des recalculs .....758
Tableau 352 : Écart en émissions entre la version de mars 2024 et celle de mars 2025 (pour les années 1990 et 2022) – périmètre France UE .....761
Tableau 353 : Écart en évolution entre la version de mars 2024 et celle de mars 2025 - périmètre France UE[f] .....763
Tableau 354 : Suivi des améliorations méthodologiques envisagées sur les inventaires .....763
Tableau 355 : Evaluation des catégories clés en 2023 – analyse des niveaux d'émissions hors UTCATF – Tier 1 .....772
Tableau 356 : Evaluation des catégories clés en 1990 – analyse des niveaux d'émissions hors UTCATF – Tier 1 .....773
Tableau 357 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2023 – analyse des évolutions des émissions hors UTCATF – Tier 1 .....774
Tableau 358 : Évaluation des catégories clés 2023 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 1 .....775
Tableau 359 : Évaluation des catégories clés 1990 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 1 .....776
Tableau 360 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2023 – analyse des évolutions des émissions avec UTCATF – Tier1 .....777
Tableau 361 : Évaluation des catégories clés 2023 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 2 .....778
Tableau 362 : Évaluation des catégories clés 1990 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 2 .....779
Tableau 363 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2023 – analyse des évolutions des émissions avec UTCATF – Tier 2 .....780
Tableau 364 : Calcul d'incertitude sur les émissions des GES en France en 2023 .....782
Tableau 365 : Calcul d'incertitude sur les émissions des GES en France en 1990 .....784
Tableau 366 : Correspondances entre "capacité" des enquêtes bâtiment et catégorie animale de la SAA .....790
Tableau 367 : Paramètres utilisés pour la pondération des capacités truies .....791
Tableau 368 : Correspondances entre les capacités des enquêtes bâtiment et les libellés des pratiques d'élevage .....791
Tableau 369 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches laitières .....793
Tableau 370 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches allaitantes et autres bovins .....794
Tableau 371 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut du Porc .....795
Tableau 372 : Premiers retraitements des données pratiques d'élevage 2015 par le Citepa pour les bovins .....796
Tableau 373 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 (et recensement agricole 2020) - Bovins .....797
Tableau 374 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 - Porcins .....798
Tableau 375 : Traitement des données sur les systèmes de gestion des déjections sur la période .....803
Tableau 376 : Traitement des données sur les temps d'hébergement sur la période .....804
Tableau 377 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Bovins .....804

Tableau 378 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Porcins ..... 807
Tableau 379 : Besoins en paille par catégorie animale - Ovins ..... 807
Tableau 380 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Ovins ..... 807
Tableau 381 : Besoins en paille par catégorie animale - Caprins ..... 808
Tableau 382 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Caprins ..... 808
Tableau 383 : Attribution des rations Cniel par anciennes régions ..... 810
Tableau 384 : Teneurs moyennes retenues des aliments composant les rations ..... 811
Tableau 385 : Poids vif moyen par catégorie bovine fine ..... 813
Tableau 386 : Caractéristiques retenues par grande catégorie d'aliment ..... 814
Tableau 387 : Pourcentages recalculés des effectifs porcins élevés en bâtiment avec traitement de l'air par grande région productrice et solde national ..... 817
Tableau 388 : Attribution des taux d'application de traitement de l'air sur la période ..... 817
Tableau 389 : Résumé des modes d'estimation du nombre de stations de traitement par nitrification-dénitrification sur la période ..... 818
Tableau 390 : Résumé des modes d'estimation de l'azote résorbé par nitrification-dénitrification sur la période ..... 818
Tableau 391 : Pourcentages des lisiers stockés en fosse couverte pour les bovins, porcins, caprins et ovins en métropole pour 2015 et 2020 ..... 819
Tableau 392 : Attribution des taux d'application de la couverture de fosse sur la période ..... 820
Tableau 393 : Combinaisons des pratiques tirées des enquêtes Pratiques Culturales 2011, 2017 et 2021 ..... 820
Tableau 394. Attribution des taux d'application des différents modes d'épandage sur la période ..... 822
Tableau 395. Estimation de la masse volumique d'un PRO liquide en fonction de sa teneur en matière sèche (%MS) ..... 824
Tableau 396. Hypothèses de répartition des UGB bovins selon le mode de gestion, temps pâture et volumes de lisier récupérable ..... 824
Tableau 397. Tonnages d'intrants en méthanisation en 2021 (hors fraction lisier) et de digestats liquides sortants ..... 825
Tableau 398. Estimation des volumes d'eaux vertes et blanches par vache laitière (VL) par an (en litres / VL / an) en fonction du type de salle de traite et de la taille de l'exploitation. Source : Estimations Citepa d'après [980], [1325] et [1326] ..... 826
Tableau 399. Estimation du gisement de produits résiduaires organiques liquides épandables par tonne en 2021 ..... 827
Tableau 400. Nombre de voyages moyen facturés par an selon la capacité de la tonne et l'année d'achat – source : FNCUMA d'après Guide des prix de revient ..... 828
Tableau 401. Parc de tonnes à lisier dans les ETA en 2022 et volumes épandus – source : étude [1330] ..... 829
Tableau 402. Parc matériel par groupe d'épandage et catégorie de matériel en 2021 : n (g, e) ..... 831
Tableau 403. Caractéristiques du parc de tonnes à lisier en Cuma en 2021. Source : FNCUMA ..... 833
Tableau 404. Équations mobilisées pour le calcul des quantités azotées des résidus de récolte ..... 840
Tableau 405 : Évolutions des productions de céréales et oléagineux (kt) – Métropole ..... 840
Tableau 406 : Évolutions des productions de protéagineux, tubercules, fourrages et herbe (kt) – Métropole ..... 841
Tableau 407 : Modifications intervenues dans le secteur de l'énergie (CRT 1) entre la mise à jour de la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025 (Périmètre France UE) ..... 849
Tableau 408 : Modifications intervenues dans le secteur des procédés industriels (CRT 2) entre la mise à jour de la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025 (Périmètre France UE) ..... 850
Tableau 409 : Modifications intervenues dans le secteur de l'agriculture (CRT 3) entre la mise à jour de la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025 (Périmètre France UE) ..... 851
Tableau 410 : Modifications intervenues dans le secteur de l'UTCATF (CRT 4) entre la mise à jour de la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025 (Périmètre France UE) ..... 852
Tableau 411 : Modifications intervenues dans le secteur des déchets (CRT 5) entre la mise à jour de la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025 (Périmètre France UE) ..... 853

# Préambule

La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) comporte les dispositions relatives à la communication des informations portant sur les émissions dans l'air ; à savoir, les émissions de gaz à effet de serre (GES) direct ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$, HFC, PFC, $SF_6$ et $NF_3$) et à effet indirect ($NO_x$, CO, COVNM, $SO_2$). Le Protocole de Kyoto, adopté le 10 décembre 1997 et entré en vigueur le 16 février 2005, a précisé les engagements assignés à chaque État signataire pour la 1ère période 2008-2012. La France et l'Union européenne l'ont approuvé le 31 mai 2002. La loi n° 2014-1753 du 30 décembre 2014 autorise la ratification par la France de l'amendement de Doha qui établit la 2ème période d'engagement au titre du Protocole de Kyoto (2013-2020). Cet amendement a été adopté par la décision 1/CMP.8 à la 8ème réunion des Parties au Protocole de Kyoto, à Doha (8 décembre 2012) : il est entré en vigueur le 2 octobre 2020, suite à sa ratification par la Jamaïque. A sa suite, l'**Accord de Paris**, adopté le 12 décembre 2015, constitue le premier instrument juridique international d'application universelle pour toutes les Parties, qu'elles soient dites développées ou en développement et visant la réduction progressive des émissions de gaz à effet de serre de l'ensemble des pays de la planète. La France a ratifié cet accord le 5 octobre 2016. Le premier inventaire de GES dans le cadre de l'Accord de Paris est celui rapporté à la CCNUCC pour décembre 2024 en accompagnement du premier Rapport Biennal de Transparence (RBT) de l'accord de Paris.

Les données présentées s'appliquent aux champs géographiques, temporels et sectoriels définis spécifiquement dans ce cadre et peuvent donc différer de celles correspondant à d'autres définitions établies dans le cadre d'autres conventions comme celle relative à la pollution transfrontière à longue distance (France métropolitaine uniquement).

Les efforts permanents visant à augmenter la fiabilité des inventaires conduisent à mener régulièrement diverses investigations pour améliorer les méthodes d'estimation et les données utilisées, intégrer les révisions statistiques et, d'une manière générale, prendre en compte l'amélioration des connaissances. Le présent rapport intègre les changements et progrès effectifs à ce jour. Certaines estimations peuvent donc différer sensiblement de celles produites précédemment.

**L'inventaire national est constitué des éléments suivants :**

- **le rapport d'inventaire** (présent document) fournissant les résultats, les commentaires associés, les sources d'émissions ainsi que les éléments supplémentaires requis,
- **la base de données OMINEA** dans laquelle sont rapportés les données d'activité et facteurs d'émission de l'inventaire,
- **les tables complètes des données au format CRT** pour le périmètre concernant la France[1] au périmètre de l'Union Européenne, avec les PRG de l'AR5 du GIEC, des inventaires de GES incluant l'année d'inventaire 2023,
- **la soumission électronique au format** Json de l'outil CRT (incluant toutes les données rapportées de 1990 à 2023).

**Ce rapport est basé sur les inventaires d'émission soumis au Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émissions (GCIIE) en décembre dernier et validés par le ministère en charge de l'environnement.**

**Ce rapport annule et remplace toutes les publications antérieures établies pour la même application, en particulier celles relatives à la mise à jour de l'inventaire de mars 2024.**

L'attention du lecteur est attirée sur la nécessité de s'assurer auprès du Citepa de l'existence éventuelle d'une mise à jour plus récente, cette dernière étant en principe effectuée annuellement.

[1] Pour la période Accord de Paris, le périmètre privilégié pour l'inventaire au format CRT de la France est celui de la « France UE » qui concerne les territoires inclus dans l'UE (France métropolitaine + Guadeloupe, Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte depuis 2014 et Saint-Martin).

# Résumé


**Généralités sur les inventaires**

Le présent rapport national d'inventaire fournit pour la France, sur la période 1990-2023, les données d'émissions des différentes substances impliquées dans l'accroissement de l'effet de serre retenues au titre :

- de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC),
- du règlement (UE) 2018/1999 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat.

Cette édition d'inventaire rapportée en 2025 correspond à la 3ème année de mise en œuvre des inventaires dans le cadre du règlement de gouvernance UE en période post Kyoto 2 (2013-2020). L'année 2025 est aussi la deuxième année de rapportage dans le cadre de l'Accord de Paris. Les substances inventoriées sont les sept gaz à effet de serre direct qui constituent le « panier de Kyoto » : dioxyde de carbone ($CO_2$), méthane ($CH_4$), protoxyde d'azote ($N_2O$), les deux familles de substances halogénées – hydrofluorocarbures (HFC) et perfluorocarbures (PFC), l'hexafluorure de soufre ($SF_6$) et le trifluorure d'azote ($NF_3$). A ces substances s'ajoutent les quatre gaz à effet de serre indirects : $SO_2$, $NO_x$, COVNM et CO pour lesquels les Etats sont invités à rapporter les émissions dans le cadre de la Convention.

Pour l'ensemble de la période 1990-2023, les estimations produites dans les inventaires précédents ont été revues et corrigées pour tenir compte des mises à jour statistiques, de l'amélioration des connaissances, de modifications méthodologiques et des spécifications contenues dans le document FCCC/CP/2013/10 de la décision 24/CP.19 de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Certaines modifications ont été introduites par suite des recommandations formulées lors des processus de revue des inventaires.

Par ailleurs, il faut noter que les précédents inventaires de GES dans le cadre de la 2e période Kyoto étaient déterminés sur la base des PRG de l'AR4 du GIEC, alors que depuis l'édition 2023, les PRG de l'AR5 du GIEC sont utilisés.

Bien que des progrès significatifs soient introduits en continu quant à la couverture des sources et la qualité des estimations, les émissions s'accompagnent d'incertitudes non négligeables dont il convient de tenir compte dans l'utilisation de ces informations. Un tableau sur les estimations des incertitudes est présenté dans ce rapport. Elles ont été estimées sur la base des connaissances actuelles.

Des révisions ultérieures de ces données sont toujours possibles sinon probables pour tenir compte des modifications méthodologiques et des travaux en cours au plan international en vue d'améliorer la connaissance et les règles d'établissement et de présentation des émissions.


# Summary


**Background information**

This national inventory document supplies emission data for France covering the 1990-2023 period and includes all substances contributing to enhanced greenhouse effect, required under:

- the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC),
- the EU regulation 2018/1999 on the Governance of the Energy Union and Climate Action.

This 2025 inventory edition corresponds to the 3rd year of inventory implementation within the framework of the EU Governance regulation in the post Kyoto 2 period (2013-2020). The year 2025 also marks the second reporting year under the Paris Agreement. The inventoried substances include the seven direct greenhouse gases that make up the "Kyoto Protocol basket": carbon dioxide ($CO_2$), methane ($CH_4$), nitrous oxide ($N_2O$), the two families of halogenated substances, hydrofluorocarbons (HFCs) and perfluorocarbons (PFCs), sulphur hexafluoride ($SF_6$) and nitrogen trifluoride ($NF_3$). In addition to these substances, four indirect greenhouse gases—sulphur dioxide ($SO_2$), nitrogen oxides ($NO_x$), non-methane volatile organic compounds (NMVOCs), and carbon monoxide (CO) — have also to be reported by the Parties under the Convention.

For the entire period 1990-2023, estimates provided in previous inventories have been reviewed and corrected to take into account statistical updates, improved knowledge, methodological changes and specifications contained in document FCCC/CP/2013/10 of decision 24/CP.19 of the United Nations Framework Convention on Climate Change. Several modifications have been added following recommendations made during the inventory review processes.

Furthermore, it should be noted that the previous GHG inventories within the framework of the 2nd Kyoto period were determined on the basis of the GWPs of the IPCC's AR4, whereas since the 2023 edition, the GWPs of the IPCC AR5 are used.

Although significant progress is continuously being made in terms of source coverage and the quality of estimates, emissions are associated with non-negligible uncertainties that must be considered when using this information. A table presenting the uncertainty estimates is included in this report. These estimates have been derived based on current knowledge.

Further revisions of these data remain possible, if not likely, to account for methodological changes and ongoing international efforts to improve knowledge as well as the rules for the calculation and reporting of emissions.

To meet other specific reporting obligations related to GHG emissions inventories (accounting, registries, etc.), this report also includes additional information in its second part, in annex 8.

Pour répondre à d'autres obligations de rapportage liées aux inventaires d'émissions de GES (comptabilisation, registres, etc.), ce rapport inclut également les informations supplémentaires à l'annexe 8.

Périmètre France UE : il s'agit du périmètre géographique de la France pour ses territoires appartenant à l'UE : Métropole + Territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE. Cela implique que les pays et territoires d'Outre-mer non inclus dans l'UE sont exclus de ce périmètre.

**Tendances relatives aux émissions (Cf. Tableau 1)**

Les émissions des gaz à effet de serre direct exprimées en $CO_2$ équivalent hors UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) se situent pour l'année 2023 à 31 % au-dessous de celles de 1990. Il faut rappeler le caractère exceptionnel du niveau des émissions de GES de l'année 2020 du fait des mesures sanitaires contre la pandémie de la Covid-19 (-9,2 % d'émissions entre 2019 et 2020 hors UTCATF). L'année 2021 marque un retour à la hausse des émissions (+6,0 % d'émissions entre 2020 et 2021 hors UTCATF), qui demeurent toutefois inférieures au niveau d'avant crise. Puis, en 2022 et 2023, la baisse des émissions reprend avec une diminution de -3,9 % entre 2021 et 2022, puis de -6,7 % entre 2022 et 2023, hors UTCATF. Ces évolutions globales se traduisent dans le détail des sept gaz impliqués par des situations beaucoup plus contrastées. Hors UTCATF, le niveau d'émissions de dioxyde de carbone est en 2023 inférieur de 30 % à celui de 1990, les rejets de méthane sont en recul de 26 %, et les émissions de protoxyde d'azote sont en baisse de 50 %.

L'inventaire met aussi en évidence une évolution très importante des émissions des hydrofluorocarbures en masse (+ 693 %) qui, compte tenu des différences structurelles liées aux molécules mises en jeu, se traduit "seulement" par un accroissement de 99 % en termes de pouvoir de réchauffement global (pour les HFC). Exprimées en $CO_2$ équivalent, les émissions de perfluorocarbures (PFC) et d'hexafluorure de soufre ($SF_6$) sont en régression de 95 % et 83 %, respectivement, sur la période 1990-2023. Enfin, les émissions de trifluorure d'azote ($NF_3$) enregistrent une baisse de 25 % sur la période 1990-2023.

La contribution des différents gaz à effet de serre est la suivante pour 2023 (en % des émissions en $CO_2$e hors UTCATF) : $CO_2$ 74,3 % ; $CH_4$ 16,1 % ; $N_2O$ 7,2 % ; HFC 2,2 % ; PFC 0,1 % ; $SF_6$ 0,1 % ; $NF_3$ < 0,01 %.

EU France scope: this refers to the geographical scope of France including its territories that are part of the EU: Metropolitan France + French Overseas territories within the EU. The scope thus excludes Overseas countries and territories not included in the EU.

**National emissions and removal trends (Cf. Table 1)**

The emissions of gases which directly contribute to the greenhouse effect, expressed in terms of $CO_2$ equivalent, decreased by 31 % in 2022 compared to 1990 excluding LULUCF (land use, land-use change and forestry) contribution. It should be recalled the exceptional situation and level of GHG emissions in 2020 due to health measures against the Covid-19 pandemic (-9.2 % of emissions between 2020 and 2019 excluding LULUCF). An increase of the global emissions is observed for 2021 (+6.0 % of emissions between 2020 and 2021 excluding LULUCF), which remain however lower than the level before the Covid crisis. Then, in 2022 and 2023, emissions decline again, with a 3.9 % drop in emissions between 2021 and 2022, followed by a 6.7% decrease between 2022 and 2023, excluding LULUCF. This overall trend masks contrasting situations depending on the gases considered. Without LULUCF, the level of $CO_2$ emissions is 30 % lower in 2023 than in 1990, while $CH_4$ and $N_2O$ emissions fell by 26 % and 50 %, respectively.

The inventory also shows a strong increase in mass hydrofluorocarbons emissions (+ 693 %). Taking into account structural differences in the molecules, it results "only" in a 99 % increase in terms of Global Warming Potential (GWP). Expressed in $CO_2$ equivalent, over the period 1990-2022, PFC, $SF_6$ emissions fell by 95 % and 83 %, respectively. Finally, $NF_3$ emissions are down by 25 % over the period 1990-2023.

The contribution of the various greenhouse gases is as follows for 2022 (in % of $CO_2$e emissions excluding LULUCF) ($CO_2$ 74.3 % ; $CH_4$ 16.1 % ; $N_2O$ 7.2% ; HFC 2.2 % ; PFC 0.1 % ; $SF_6$ 0.1 % ; $NF_3$ < 0.01 %).

**Tableau 1 : Résumé des émissions de gaz à effet de serre en France (périmètre France UE)[f]**

***Ces valeurs sont régulièrement révisées et complétées afin de tenir compte de l'amélioration permanente des connaissances et des méthodes d'estimation. Les utilisateurs sont invités à s'assurer de l'existence de mises à jour plus récentes.***

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 serre/résumé.xlsx

| Substance | Unité | 1990 | | 2023 | | Ecart 2023/90 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | hors UTCATF[c] | net[a] | hors UTCATF[c] | net[a] | hors UTCATF[c] | net[a] |
| *Gaz à effet de serre direct* | | | | | | | |
| **$CO_2$ (direct et indirect)** | Mt | 400 | 375 | 280 | 241 | -30.0% | -35.7% |
| | Mt éq. C[d] | 109 | 102 | 76 | 66 | -30.0% | -35.7% |
| **$CH_4$** | kt | 2 924 | 2 947 | 2 170 | 2 193 | -25.8% | -26% |
| | Mt $CO_2$e | 82 | 83 | 61 | 61 | -26% | -26% |
| | Mt éq. C[d] | 22 | 23 | 17 | 17 | -26% | -26% |
| **$N_2O$** | kt | 203 | 211 | 102 | 105 | -50% | -50% |
| | Mt $CO_2$e | 54 | 56 | 27 | 28 | -50% | -50% |
| | Mt éq. C[d] | 15 | 15 | 7 | 8 | -50% | -50% |
| **HFC** | t | 659 | 659 | 5 221 | 5 221 | 693% | 693% |
| | Mt $CO_2$e | 4.2 | 4.2 | 8 | 8 | 99% | 99% |
| | Mt éq. C[d] | 1.2 | 1.2 | 2.3 | 2.3 | 99% | 99% |
| **PFC** | t | 588 | 588 | 28 | 28 | -95% | -95% |
| | Mt $CO_2$e | 4.7 | 4.7 | 0.2 | 0.2 | -95% | -95% |
| | Mt éq. C[d] | 1.3 | 1.3 | 0.1 | 0.1 | -95% | -95% |
| **$SF_6$** | t | 95 | 95 | 16 | 16 | -83% | -83% |
| | Mt $CO_2$e | 2.2 | 2.2 | 0.4 | 0.4 | -83% | -83% |
| | Mt éq. C[d] | 0.6 | 0.6 | 0.1 | 0.1 | -83% | -83% |
| **$NF_3$** | t | 1.0 | 1.0 | 0.7 | 0.7 | -25% | -25% |
| | Mt $CO_2$e | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | -25% | -25% |
| | Mt éq. C[d] | 0.004 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | -25% | -25% |
| **$CO_2$e[b]** | Mt $CO_2$e | 547 | 524 | 376 | 339 | -31% | -35% |
| | Mt éq. C[d] | 149 | 143 | 103 | 92 | -31% | -35% |
| | kg $CO_2$e/hab. | 9 384 | 9 000 | 5 513 | 4 965 | -41% | -45% |
| | kg C/hab.[(**)] | 2 559 | 2 454 | 1 503 | 1 354 | -41% | -45% |
| | g $CO_2$e/€ PIB | 519 | 498 | 141 | 127 | -73% | -74% |
| | g C/€ PIB[(**)] | 142 | 136 | 39 | 35 | -73% | -74% |
| *Gaz à effet de serre indirect* | | | | | | | |
| **$SO_2$** | kt | 1 329 | 1 329 | 89 | 89 | -93% | -93% |
| **NOx** | kt | 2 184 | 2 194 | 679 | 685 | -69% | -69% |
| **COVNM** | kt | 2 904 | 4 057 | 1 063 | 2 534 | -63% | -38% |
| **CO** | kt | 10 282 | 10 648 | 2 157 | 2 391 | -79% | -78% |

(a) comprend l'UTCATF (utilisation des terres, changements d'affectation des terres et forêt)

(b) Emissions $CO_2$ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 5ème rapport du GIEC (GIEC 2014 - AR5).

PRG: $CO_2$ = 1 ; $CH_4$ = 28 ; $N_2O$ = 265 ; $SF_6$ = 23500 ; $NF_3$ = 16100 ; HFC et PFC = valeurs variables dépendantes de la composition des gaz.

(c) utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (LULUCF en anglais)

(d) Mt équivalent Carbone = (12/44) Mt équivalent $CO_2$

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

(*) Les émissions du trafic maritime international et du trafic aérien international sont exclues.

| Indicateur | Unité | 1990 | 2023 | Ecart (%) 2023/90 |
|---|---|---|---|---|
| Population[(e)] | milliers | 58 248 | 68 280 | 17% |
| PIB[(e)] | milliards € courants | 1 053 | 2 664 | 153% |

(e) source INSEE

**Tendances relatives aux émissions par catégorie de sources**

L'énergie, avec 68,4 % des émissions totales en $CO_2e$ hors UTCATF en 2023, occupe le premier rang des catégories de sources émettrices en France au sens de la classification de la CCNUCC devant l'agriculture, 17,7 %. Viennent ensuite les procédés industriels, 9,1 % et les déchets 4,8 %. Par rapport à 1990, les contributions relatives de l'agriculture et des déchets sont légèrement plus importantes, tandis que celle de l'énergie est relativement stable et celle des procédés industriels a diminué.

Parmi les faits marquants, il faut souligner pour les évolutions entre 1990 et 2023 :

- une baisse considérable des émissions de $N_2O$ de la chimie (-99 %) et, à un degré moindre, des sols agricoles (-21 %),

- une baisse conséquente des émissions fugitives de $CH_4$ consécutivement à l'arrêt de l'exploitation des mines de charbon (-99,8%),

- le déclin de l'utilisation des PFC (-95 % en $CO_2e$) au bénéfice des HFC et l'augmentation très importante des émissions de ces derniers composés (+99 % en $CO_2e$).

Le bilan de l'UTCATF représente un puits de $CO_2$ compensant, en 2023, environ 10 % des émissions totales hors UTCATF de GES exprimées en $CO_2e$ (soit 37,4 Mt $CO_2e$).

**Emissions de gaz à effet de serre indirect (UTCATF inclus)**

Entre 1990 et 2023, les émissions des gaz à effet de serre indirects sont orientées à la baisse pour les quatre gaz visés. Cette baisse exprimée en masse est de **93 % pour le dioxyde de soufre, de 78 % pour le monoxyde de carbone, de 69 % pour les oxydes d'azote et de 38 % pour les composés organiques volatils non méthaniques.**

**Source and sink category emission estimates and trends**

The energy sector is the most important emitting source in 2022 in France with regard to UNFCCC source categories amounting to 68.4 % of the $CO_2e$ national total emissions without LULUCF. Agriculture, industrial processes and waste sectors represent 17.7 %, 9.1 % and 4.8 % of the national GHG emissions, respectively. Since 1990, waste and agriculture sectors relative contributions have slightly increased meanwhile the contribution of energy is rather stable and the one of industrial processes decreased.

Key trends between 1990 and 2023 include:

- a considerable reduction in $N_2O$ emissions in the chemical industry (-99 %) and, to a lesser extent, from agricultural soils (-21 %),

- a fall in $CH_4$ fugitive emissions resulting from the closure of coal mines (-99.8 %),

- the decline in the use of PFCs (-95 % in $CO_2e$) in favour of HFC and the major increase in emissions of these compounds (+99 % in $CO_2e$).

In 2023, the $CO_2$ balance for LULUCF is a net removal which represents around 9 % of the total GHG emissions without LULUCF contribution, expressed as $CO_2$ equivalent (i.e., 37.4 Mt $CO_2e$).

**Indirect greenhouse gas emissions (LULUCF included)**

Between 1990 and 2023, there was a downward trend in mass emissions of the four gases that indirectly contribute to the greenhouse effect: **-93 % for sulphur dioxide, -78 % for carbon monoxide, -69 % for nitrogen oxides and -38 % for non-methane volatile organic compounds.**

# 1. Système national et informations transversales

# 1.1 Généralités sur les inventaires de gaz à effet de serre et les changements climatiques

**Cadre général et historique**

La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC ), adoptée en 1992, a pour objectif de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Cette convention couvre l'ensemble des gaz à effet de serre non couverts par le protocole de Montréal à savoir les gaz à effet de serre direct (GES) : dioxyde de carbone ($CO_2$), protoxyde d'azote ($N_2O$), méthane ($CH_4$), hydrofluorocarbures (HFC), perfluorocarbures (PFC), l'hexafluorure de soufre ($SF_6$) et le trifluorure d'azote ($NF_3$), ainsi que les gaz à effet de serre indirect, $SO_2$, $NO_x$, CO et COVNM.

La Convention a été renforcée par l'adoption du Protocole de Kyoto le 11 décembre 1997. Ce protocole fixe un objectif de réduction pour les émissions agrégées de gaz à effet de serre direct (GES) et ce, pour 38 pays industrialisés. Ces derniers se sont engagés à réduire globalement leurs émissions de GES de 5,2 % sur la période 2008-2012, par rapport au niveau de 1990. Pour sa part, l'Union européenne (UE) s'est engagée à réduire ses émissions de 8 %.

Au niveau communautaire, les 15 États Membres sont parvenus, le 16 juin 1998, à un accord définissant la répartition des efforts de réduction des émissions au sein de l'UE (« burden-sharing agreement ») afin de respecter cet objectif global de 8% pour la première période Kyoto. Pour la France, cet accord fixe un objectif de stabilisation des émissions sur la période 2008-2012 au niveau de 1990 (année de référence). Cet objectif a été fixé en valeur absolue sous le terme de quantité attribuée.

La France et l'Union Européenne ont ratifié le Protocole de Kyoto le 31 mai 2002. Le protocole est entré en vigueur le 16 février 2005 suite à la ratification du traité par la Russie fin 2004.

Il faut ajouter que, pour répondre à ses engagements en tant que Partie à la Convention, la Communauté Européenne a mis en place un mécanisme de surveillance et de rapportage des émissions de $CO_2$ et autres gaz à effet de serre[2] destiné à :

- Surveiller, dans l'UE / États Membres, toutes les émissions anthropiques de gaz à effet de serre non réglementés par le protocole de Montréal et,
- Évaluer les progrès réalisés en vue de respecter les engagements en ce qui concerne ces émissions.

Un amendement au protocole de Kyoto a été adopté lors de la 18ème Conférence des Parties (COP-18) réunie à Doha le 8 décembre 2012. Cet amendement de Doha a permis ainsi la poursuite du protocole de Kyoto avec une seconde période d'engagement entre 2013 et 2020. La France a ratifié cet amendement le 30 décembre 2014. L'Union Européenne et les États Membres se sont engagés, sur la période 2013-2020, à réduire de 20 % leurs émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990. Un nouveau gaz à effet de serre, le trifluorure d'azote ($NF_3$), a été ajouté aux six gaz à effet de serre direct initialement pris en compte. Au sein de l'Union européenne, cet objectif se décompose en deux objectifs : l'un pour les émissions soumis au système d'échange de quotas d'émissions (SEQE) et un deuxième pour les émissions qui ne sont pas prises en compte dans ce système (hors SEQE), mais couvertes par le "partage de l'effort" (effort sharing directive ESD pour 2013-2020 puis effort sharing regulation ESR pour 2021-2030). La décision du partage de l'effort a réparti l'objectif global de 20 % en objectifs pour chaque Etat Membre soit –14 % de réduction des émissions hors SEQE pour la France en 2020 par rapport au niveau 2005. Ces objectifs nationaux hors SEQE avaient été exprimés par l'UE sous forme de plafonds annuels de 2013 à 2020. La France a pu respecter ses objectifs pour les engagements UE de la deuxième période Kyoto (2013-2020). L'amendement de Doha est entré en vigueur le 30 décembre 2020, 90 jours après la 144e ratification (le 1er octobre 2020 par la Jamaïque).

**Eléments relatifs à l'Accord de Paris**

*Au niveau de l'UE*

Dans le cadre de l'Accord de Paris, l'UE s'est engagée via sa Contribution Déterminée au niveau National (CDN, ou *NDC* en anglais) à réduire ses émissions de GES de 40 % en 2030, avant de rehausser cet objectif à au moins –55% de réduction d'émissions en 2030 par rapport à 1990. De la même façon que pour l'objectif de 2020, cet effort de réduction a fait l'objet d'une répartition entre les secteurs du SEQE et hors SEQE partagé entre chaque État Membre.

Le 9 juillet 2021, a été publié au JOUE L 243 le règlement (UE) 2021/1119 du Parlement européen et du Conseil du 30 juin 2021 établissant le cadre requis pour parvenir à la neutralité climatique (règlement dit « *loi européenne sur le climat* ») en vue de la réalisation de l'objectif de long terme de l'Accord de Paris (art. 2 §1 a). Ce règlement inscrit formellement dans la législation de l'UE l'objectif de réduction collectif

[2] Décisions 280/2004/CE et 2005/166/CE actualisées par le règlement UE « MMR » n° 525/2013 et remplacé par le règlement UE « Gouvernance « 2018/1999 du 11 décembre 2018.

contraignant des émissions nettes (avec UTCATF) de l'UE, d'au moins -55 % entre 1990 et 2030 (contre au moins -40 % auparavant), et l'objectif collectif contraignant de neutralité climatique (ou zéro émission nette) dans l'UE à l'horizon 2050.

Comme pour les précédents objectifs, ce nouvel objectif pour 2030 s'est traduit par la présentation d'un nouveau paquet politique et législatif (dit « *fit for 55* [%] ») visant à adapter plusieurs actes législatifs européens en vigueur en matière de climat-énergie pour qu'ils soient compatibles avec le nouvel objectif de réduction des émissions de GES. La publication de nouveaux textes réglementaires permet les déclinaisons suivantes du nouvel objectif de -55 % :

- Pour les **secteurs couverts par le SEQE** (Système d'échange de quotas d'émissions de GES, *ETS* en anglais) : la Commission a proposé le 14 juillet 2021 une **révision de la directive Quotas (2003/87/CE modifiée)** qui s'applique actuellement aux installations de production d'électricité, aux installations du secteur de l'industrie manufacturière et à l'aviation (vols intra-UE)**.** En mai 2023, la révision du SEQE a été formellement adoptée via la directive (UE) 2023/959. Deux des aspects principaux de la révision sont : la hausse de l'objectif de réduction en 2030 par rapport à 2005 (passant de -43 % actuellement à -62 %) ; et l'inclusion de nouveaux secteurs : le transport maritime au sein du système existant ; et le transport routier et les bâtiments au sein d'un « deuxième SEQE » dédié, à partir de 2024 (première déclaration d'émissions).
- Pour les **secteurs hors-SEQE** (actuellement : transports, bâtiments, agriculture, déchets, petites industries…) : le nouveau règlement (UE) 2023/857 modifie le règlement (UE) 2018/842 sur la répartition de l'effort, dit ESR (*Effort Sharing Regulation)*. Le règlement révisé impose à l'UE de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans les secteurs hors-SEQE d'au moins 40 % d'ici à 2030 par rapport aux niveaux de 2005. La Commission a également révisé les objectifs nationaux de réduction à la hausse. L'objectif de réduction pour la France pour les secteurs hors-SEQE passe de -37 % à -47,5 % par rapport à 2005.
- Pour le **secteur UTCATF**, le règlement (UE) 2023/839 modifie le précédent règlement (UE) 2018/841 établissant les règles de comptabilisation de GES de ce secteur pour la période 2021-2030. Le règlement révisé vise à ce que le secteur soit un puits net de carbone, avec un objectif européen d'absorption de 310 millions de $tCO_2e$ d'ici à 2030 et la déclinaison d'objectifs nationaux afin que les Etats Membres préservent et développent leurs puits de carbone. Pour la France, cela se traduit par un objectif d'absorption de 6693 $ktCO_2e$ d'ici à 2030.

*Au niveau de la France*

La France doit d'une part respecter les **objectifs qui lui sont assignés en tant qu'Etat-membre** de l'UE dans le cadre des objectifs européens en vigueur :

- les entreprises visées par le SEQE sont soumises aux exigences de ce système d'échanges de quotas d'émissions ;
- des plafonds nationaux sont définis pour les secteurs hors SEQE[3]. Le plafond fixé pour la France est de **312 Mt $CO_2e$** pour l'année 2023 ; de **297,5 Mt $CO_2e$ pour 2024**; et de **283 Mt $CO_2e$ pour 2025 ;**
- les exigences pour le secteur UTCATF, telles que fixées par le règlement (UE) 2018/841 doit encore être respecté jusqu'à 2025. Ensuite, les exigences fixées par le règlement (UE) 2023/839

D'autre part, la France s'est fixé **ses propres objectifs** de réduction d'émission en cohérence avec les objectifs européens tels que déclinés selon les précédents textes réglementaires européens sur le SEQE (*ETS*), l'ESR et l'UTCATF, correspondant à l'objectif de -40 % de réduction entre 1990 et 2030 (hors UTCATF) :

- la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte (dite « LTECV » ou plus généralement « LTE ») d'août 2015 (loi n° 2015-992) fixe dans la loi les grands principes et objectifs climatiques de la France. Elle met en place la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) et la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE). Elle a été complétée par la Loi relative à l'énergie et au climat de 2019. Elle intègre l'objectif **de réduction des émissions de GES de -40 % entre 1990 et 2030**.
- La SNBC, mise en place par la LTECV, définit les orientations stratégiques à prendre et présente les évolutions des émissions de GES en fonction des budgets carbone et de l'objectif de **neutralité 2050**. C'est actuellement la 2ème version de la SNBC (SNBC-2, formellement adoptée par le décret n°2020-457 du 21 avril 2020) qui est en vigueur. Elle définit une trajectoire de réduction d'émissions de GES par secteur et des budgets carbone quinquennaux, permettant de **respecter l'objectif de -40 % en 2030** et **l'objectif hors-SEQE de -37 % entre 2005 et 2030**. Les budgets carbone se déclinent par secteur et par gaz. En $CO_2e$ tous secteurs (hors UTCATF), ces budgets sont les suivants : 2019-2023 : 422 Mt $CO_{2e}$/an, 2024-2028 : 359 Mt $CO_{2e}$/an, 2029-2033 : 300 Mt $CO_{2e}$/an. La révision de ces budgets carbone est en cours de discussion dans le cadre de la préparation de la SNBC-3, dont la consultation publique a eu lieu fin 2024. Le projet de la SNBC-3 intègre dans ses enjeux une réduction de ses émissions territoriales brutes de -50 % en 2030 par rapport à 1990, en cohérence avec le nouvel objectif européen de -55 %.

**Inventaires nationaux de gaz à effet de serre**

[3] Décision d'exécution (UE) 2023/1319 de la commission du 28 juin 2023 modifiant la décision d'exécution (UE) 2020/2126 afin de réviser les quotas annuels d'émissions des États membres pour la période 2023-2030, suite au règlement (UE) 2023/857.

Dans ce cadre et conformément aux prescriptions définies par la CCNUCC, à savoir :

- les lignes directrices relatives à l'établissement des communications nationales des Parties, en particulier les « modalités, procédures et lignes directrices aux fins du cadre de transparence des mesures et de l'appui visés à l'article 13 de l'Accord de Paris » cf. FCCC/PA/CMA/2018/3/Add.2.
- les lignes directrices du GIEC de 2006, et ses raffinements de 2019.

La France remet chaque année N un inventaire national des émissions de gaz à effet de serre couvrant :

- la période 1990 – N-2. Cette édition d'inventaire rapportée en mars 2025 à l'UE correspond à la 3ème année de mise en œuvre des inventaires dans le cadre du règlement de gouvernance UE en période post Kyoto 2 (2013-2020), en PRG AR5 du GIEC et au nouveau format d'inventaire « CRT » de la CCNUCC.
- sept gaz à effet de serre direct ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$, HFC, PFC, $SF_6$, $NF_3$),
- quatre gaz à effet de serre indirect ($SO_2$, CO, COVNM et $NO_x$).

Afin de respecter les exigences de l'UE et de la CCNUCC, le rapport d'inventaire national pour la France est organisé selon la structure suivante :

- le rapport global (présent document) présentant et commentant les résultats ainsi que les sources d'émissions,
- la base de données contenant les données d'activité et facteurs d'émission par secteur, fournie en support informatique (base OMINEA),
- les tables de données au format CRT (pour toutes les années de 1990 à l'année n-2, au format Excel et Json).

**Pouvoir de réchauffement global et définitions**

Afin de déterminer l'impact relatif de chacun des polluants sur le changement climatique, un indicateur, le pouvoir de réchauffement global (PRG), a été défini. Il s'agit de l'effet radiatif d'un polluant intégré sur une période de 100 ans, comparativement au $CO_2$ pour lequel le PRG est fixé à 1. Le pouvoir de réchauffement global est calculé au moyen des PRG respectifs de chacune des substances exprimées en équivalent $CO_2$ ($CO_2e$). Les valeurs des PRG utilisées et retenues pour les inventaires d'émissions correspondent aux valeurs convenues par la CCNUCC, c'est-à-dire celles indiquées dans le 5ème rapport du GIEC (AR5) pour la période de l'Accord de Paris :

$PRG_{CO2}$ = 1 par définition

$PRG_{CH4}$ = 28

$PRG_{N2O}$ = 265

$PRG_{SF6}$ = 23 500

$PRG_{NF3}$ = 16 100

$PRG_{HFC}$ = valeurs variables selon les molécules considérées et leurs contributions qui sont variables au cours des années de la période étudiée. Les calculs sont effectués sur les bases suivantes :

| Polluant | HFC-125 | HFC-134a | HFC-143a | HFC-152a | HFC-227ea | HFC-365mfc | HFC-23 | HFC-4310mee | HFC-32 | HFC-245fa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Base de calcul** | 3 170 | 1 300 | 4 800 | 138 | 3 350 | 804 | 12 400 | 1 650 | 677 | 858 |

$PRG_{PFC}$ = valeurs variables selon les molécules considérées et leurs contributions qui sont variables au cours des années de la période étudiée. Les calculs sont effectués sur les bases suivantes :

| Polluant | PFC-14 | PFC-116 | $C_3F_8$ | c-$C_4F_8$ | $C_4F_{10}$ | $C_5F_{12}$ | $C_6F_{14}$ | $C_{10}F_{18}$* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Base de calcul** | 6 630 | 11 100 | 8 900 | 9 540 | 9 200 | 8 550 | 7 910 | 7 190 |

** le PRG utilisé pour le $C_{10}F_{18}$ est de 7 190 (indiqué « > 7 190 » dans l'AR5)*

Les émissions des différentes substances rapportées sous-entendent les définitions suivantes :

- $CO_2$ dioxyde de carbone exprimé en $CO_2$, soit hors UTCATF[4], soit UTCATF inclus,

[4] UTCATF : Utilisation des Terres, Changement d'affectation des Terres et Foresterie

- $CH_4$ méthane exprimé en $CH_4$,
- $N_2O$ protoxyde d'azote ou oxyde nitreux exprimé en $N_2O$,
- HFC hydrofluorocarbures exprimés en somme de HFC en masse (aucune équivalence n'est prise en compte sauf pour le calcul du PRG),
- PFC perfluorocarbures exprimés en somme de PFC en masse (aucune équivalence n'est prise en compte sauf pour le calcul du PRG),
- $SF_6$ hexafluorure de soufre exprimé en $SF_6$,
- $NF_3$ trifluorure d'azote exprimé en $NF_3$.

Les quatre gaz mentionnés ci-après ont une action indirecte sur l'effet de serre en tant que polluants primaires intervenant dans la formation de polluants secondaires comme l'ozone ou les aérosols. Ils sont inclus dans l'inventaire avec les conventions suivantes :

- CO, monoxyde de carbone exprimé en CO – *Dans l'atmosphère, le CO s'oxyde en $CO_2$.*
- COVNM, composés organiques volatils non méthaniques exprimés en somme de COV en masse (aucune équivalence n'est prise en compte).
- $NO_x$ ($NO + NO_2$), exprimés en équivalent $NO_2$ – *Ces deux familles de composés interagissent selon des réactions complexes dans l'atmosphère pour former de l'ozone qui participe à l'effet de serre.*
- $SO_x$ ($SO_2 + SO_3$), exprimés en équivalent $SO_2$ – *Les oxydes de soufre ont indirectement une action de refroidissement climatique car ils servent de noyaux de nucléation à des aérosols dont l'albédo est assez élevé.*

# 1.2 Système national d'inventaire

Cette section décrit les principales composantes et caractéristiques organisationnelles du système national d'inventaires des émissions de polluants et de gaz à effet de serre dans l'atmosphère conformément aux dispositions mises en place par le **Ministère chargé de l'écologie**, en particulier, l'arrêté du 24 août 2011 relatif au système national d'inventaires d'émissions et de bilans dans l'atmosphère (SNIEBA).

## 1.2.1 Dispositions institutionnelles, législatives et procédurales

Les pouvoirs publics s'attachent à disposer de données relatives aux émissions de polluants dans l'atmosphère qui correspondent quantitativement et qualitativement aux différents besoins nationaux et internationaux du fait de l'importance de ces données pour identifier les sources concernées, définir les programmes appropriés d'actions de prévention et de réduction des émissions, informer les nombreux acteurs intervenant à divers titres et sur divers thèmes en rapport avec la pollution atmosphérique.

La responsabilité de la définition et de la maîtrise d'ouvrage du **système national d'inventaires des émissions de polluants et de gaz à effet de serre dans l'atmosphère** appartient au **Ministère chargé de l'écologie** (Ministère de la Transition Ecologique - MTE).

Le MTE prend en coordination avec les autres ministères concernés les décisions utiles à la mise en place et au fonctionnement du SNIEBA, en particulier les dispositions institutionnelles, juridiques ou de procédure. A ce titre, il définit et répartit les responsabilités attribuées aux différents organismes impliqués. Il met en œuvre les dispositions qui assurent la mise en place des processus relatifs à la détermination des méthodes d'estimation, à la collecte des données, au traitement des données, à l'archivage, au contrôle et à l'assurance de la qualité, la diffusion des inventaires, tant au plan national qu'international, ainsi que les dispositions relatives au suivi de la bonne exécution.

La multiplicité des besoins conduisant à l'élaboration d'inventaires d'émission de polluants et de gaz à effet de serre dans l'atmosphère portant souvent sur des substances et des sources similaires justifie dans un souci de cohérence, de qualité

et d'efficacité de retenir le **principe d'unicité du système d'inventaire.** Cette stratégie correspond aux recommandations des instances internationales telles que la Commission européenne et les Nations unies.

Les inventaires d'émissions doivent garantir diverses qualités de cohérence, comparabilité, transparence, exactitude, ponctualité, exhaustivité qui conditionnent l'organisation du système tant au plan administratif que technique.

L'organisation du système actuel a fait l'objet de **l'arrêté interministériel (SNIEBA) du 24 août 2011**[5] **qui annule et remplace l'arrêté du 29 décembre 2006** relatif au **système national d'inventaires des émissions de polluants dans l'atmosphère** (SNIEPA).

Cette organisation est conforme au cadre directeur des systèmes nationaux de la CCNUCC, du GIEC et des règlements européens relatifs au suivi des GES, notamment le règlement UE n°2018/1999 (Gouvernance). En particulier, la transparence des inventaires français et la richesse de son système d'informations, registres, statistiques, valorisation des travaux de recherches, etc., sont des qualités importantes attendues par les instances internationales, notamment dans le cadre et l'esprit de l'Accord de Paris.

**Tableau 2 : Annexe II de l'arrêté du 24 août 2011 relatif au système national d'inventaires d'émissions et de bilans dans l'atmosphère**

| SECTEUR | TYPE DE DONNÉES | ORGANISME ÉMETTEUR DES DONNÉES |
|---|---|---|
| Energie | Bilan de l'énergie.<br>Consommation d'énergie en France.<br>Consommation et ventilation des produits pétroliers à usage non énergétique.<br>Consommations d'énergie dans l'industrie.<br>Consommations d'énergie dans le résidentiel et le tertiaire.<br>Consommations d'énergies renouvelables dans l'industrie et le résidentiel/tertiaire.<br>Bilan de la pétrochimie. | Ministère chargé de l'industrie |
| | Déclarations annuelles des rejets polluants de certaines installations classées. | Ministère chargé de l'écologie |
| | Consommations d'énergie dans les industries agricoles et alimentaires (IAA). | Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche |
| | Comptes des transports de la nation.<br>Statistiques du transport maritime<br>Statistiques du transport aérien. | Ministère chargé des transports |
| Procédés industriels Utilisation de solvants et autres produits | Déclarations annuelles des rejets polluants de certaines installations classées. | Ministère chargé de l'écologie |
| | Production des IAA. Enquêtes de branches. | Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche |
| | Statistiques industrielles. | INSEE |
| | Inventaires de fluides frigorigènes. | ADEME |
| | Déclarations annuelles des rejets polluants de certaines installations classées. | Ministère chargé de l'écologie |
| | Production, imports et exports, consommation de peinture/encre/colle. | IINSEE et ministère chargé du commerce extérieur |

[5] https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000024556265/

| SECTEUR | TYPE DE DONNÉES | ORGANISME ÉMETTEUR DES DONNÉES |
|---|---|---|
| **Agriculture** | Statistiques agricoles.<br>Caractérisation des modes d'élevage (mode de gestion des déjections, bâtiments).<br>Caractérisation des pratiques culturales.<br>Facteurs d'émission. | Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche<br>INRA |
| **UTCF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)** | Statistiques forestières.<br>Utilisation du territoire.<br>Récolte de bois et production de sciages. | Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche |
| | Accroissement et stocks forestiers en métropole. | IFN |
| | Température/rayonnement solaire global. | Réseau RenEcofor/ONF |
| **Déchets** | Inventaire des installations de traitement des déchets ménagers et assimilés. Statistiques déchets de soins à risques<br>Statistiques déchets industriels. | ADEME et ministère en charge de l'écologie |
| | Déclarations de rejets polluants. Surveillance dioxines/métaux lourds des usines d'incinération. | Ministère chargé de l'écologie |
| **Tous secteurs** | Tout ou partie des éléments ci-dessus selon les secteurs, pour les inventaires territoriaux. | Voir ci-dessus, et AASQA, Citepa, services des collectivités |

6

## 1.2.2 Planification, préparation et management

- A partir de l'expression des différents besoins et des exigences qui s'y attachent, les termes de référence sont établis.
- Les méthodologies à appliquer sont choisies et mises au point en tenant compte des connaissances et des données disponibles, notamment les éléments contenus dans certaines lignes directrices définies par les Nations unies ou la Commission européenne.
- Les données nécessaires et les sources susceptibles de les produire sont identifiées.
- Les données sont collectées, validées, traitées selon les processus établis, y compris en tenant compte des critères liés à la confidentialité.
- Les données obtenues sont stockées dans des bases de données pour exploitation ultérieure.
- Les principaux éléments utiles à l'approbation des inventaires (résultats d'ensemble, principales analyses, changements majeurs notamment liés à des évolutions méthodologiques) sont produits pour transmission au Groupe de coordination (GCIIE).

Le **Groupe de coordination et d'information sur les inventaires d'émissions (GCIIE) fait part de son avis** sur les inventaires et les **ajustements nécessaires**. Il **émet des recommandations et propose un plan d'actions** visant à améliorer les inventaires tant en ce qui concerne l'exactitude ou l'exhaustivité des estimations que les aspects de forme, d'analyse, de présentation des résultats ou de tout autre point en rapport avec les inventaires.

Le Ministère en charge de l'écologie prend les décisions finales concernant les inventaires.

6 https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000024556265/

Les ajustements éventuels sont apportés à l'édition de l'inventaire en cours ou dans le cadre de l'application du plan d'amélioration des inventaires qui comporte des actions à plus long terme.

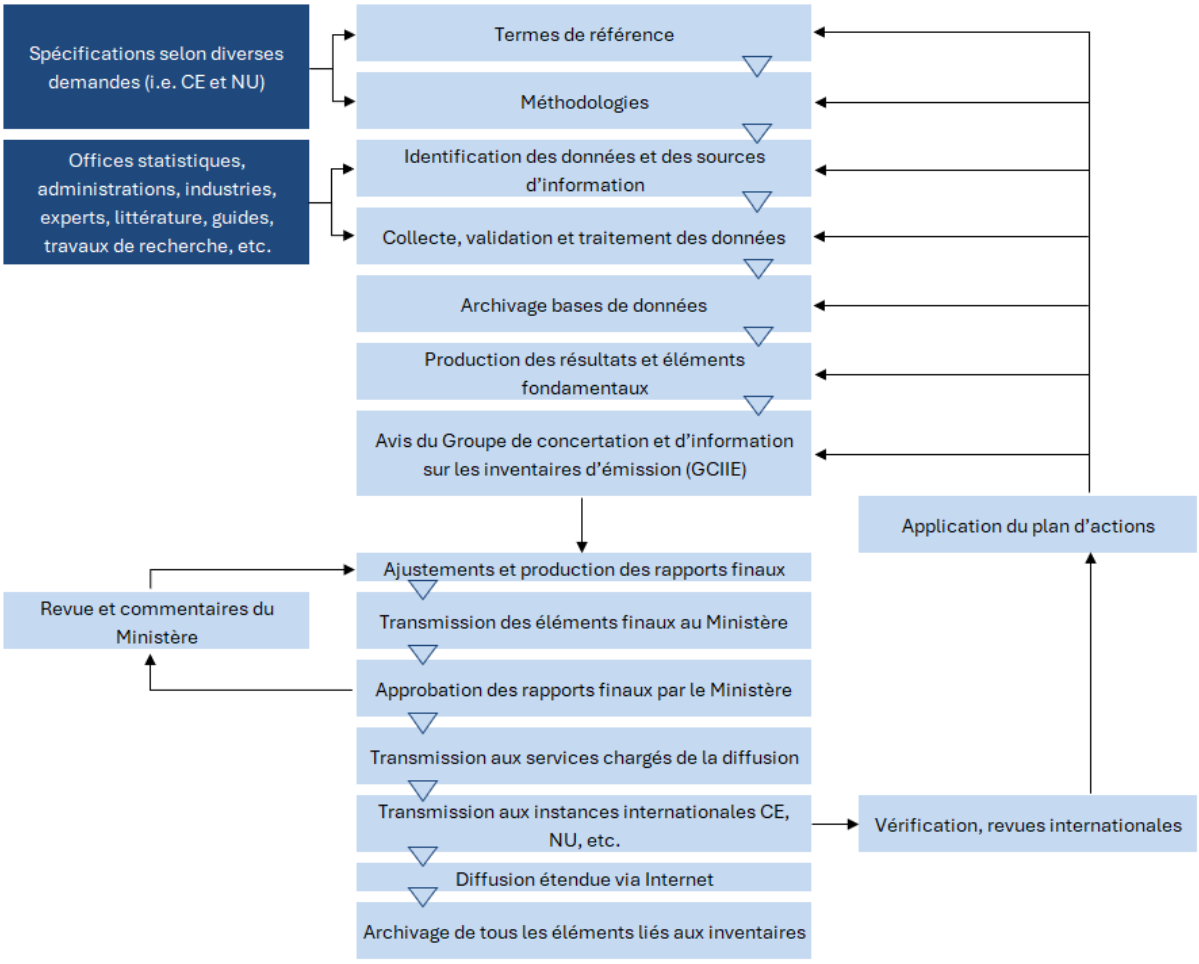
Les éléments finalisés sont remis au MTE qui, après examen et approbation, les communique aux instances internationales.

Une diffusion étendue des inventaires est réalisée au travers de la mise en ligne sur le site Internet du Citepa des différents rapports. D'autres vecteurs de diffusion sont également utilisés par les différents organismes utilisateurs des rapports par l'intermédiaire de publications, communications et envois des rapports à certains organismes.

L'ensemble des éléments utilisés pour construire les inventaires est archivé pour en assurer la traçabilité.

Des vérifications sont effectuées notamment par des instances internationales. Certaines, comme les revues au moyen d'équipes d'experts dépêchées par les Nations unies dans les pays concernés, vont très en profondeur dans le détail des méthodologies et procédures de rapportage des inventaires. A cela s'ajoutent les revues de l'UE dans le cadre de son propre système de contrôle et assurance qualité des inventaires d'émissions UE basés sur la compilation des inventaires des états membres. Par ailleurs, toutes les remarques effectuées par divers utilisateurs des inventaires et les anomalies éventuellement détectées ainsi que le résultat des actions menées au titre de l'assurance qualité au niveau national participent à ces vérifications (cf. section « Programme d'assurance et de contrôle de la qualité »). Tous ces éléments nourrissent le plan d'actions et sont utilisés pour améliorer les éditions suivantes des inventaires.

**Figure 1 : Schéma organisationnel simplifié**




## 1.2.3 Dispositions opérationnelles, collecte des données, traitement et archivage

Cette section décrit les principales composantes et caractéristiques techniques du système national d'inventaires des émissions de polluants et de bilans dans l'atmosphère (SNIEBA).

**Principe et champ général**

Le système national d'inventaire des émissions de polluants et de gaz à effet de serre dans l'atmosphère est conçu sur le principe de l'unicité du système répondant à la multiplicité des demandes. Toutefois, le SNIEBA ne prétend pas répondre à l'avance à tous les besoins qui pourraient être formulés dans le domaine très étendu des inventaires d'émissions. Il vise à pouvoir s'adapter pour répondre à ceux qui ont reçu l'agrément des pouvoirs publics et qui justifient, par leurs caractéristiques et leur intérêt, d'être couverts par le système national.

De fait, le SNIEBA est conçu pour répondre à des demandes récurrentes et dont le contenu est bien spécifié afin de justifier le développement des processus et des outils mis en œuvre. Des besoins ponctuels peuvent éventuellement être satisfaits par le système au moyen de procédures connexes développées à cet effet. Une condition technique impérieuse porte sur la compatibilité de la demande en termes de concept, de couverture et de résolution des substances, des catégories de sources, des caractéristiques spatio-temporelles, etc. avec les caractéristiques actuelles du SNIEBA.

Le SNIEBA fait l'objet d'une actualisation régulière pour assurer dans toute la mesure du possible le respect des spécifications définies au plan international par la Commission européenne et les Nations unies.

Le SNIEBA offre également un intérêt important au plan national en produisant de nombreuses données et analyses mais aussi comme base de cadrage pour des études à l'échelle régionale ou locale en particulier en ce qui concerne les aspects méthodologiques, les référentiels, etc. De nombreuses données élaborées au cours du processus et disponibles dans le SNIEBA sont également géoréférencées et utilisables pour des applications à l'échelle régionale ou locale. Ces données sont également utilisables par des applications connexes utilisées pour la détermination des rejets dans des cadres déclaratifs (tels que E-PRTR, SEQE, etc.).

**Caractéristiques requises pour les inventaires d'émissions**

Les inventaires d'émissions doivent généralement présenter les caractéristiques décrites ci-après afin d'être effectivement utilisables. Ces caractéristiques sont des exigences formelles dans le cas des inventaires réalisés dans le cadre des Conventions internationales (CCNUCC, CEE-NU / CLRTAP) et des directives de l'Union européenne. La conception et le développement du SNIEBA sont effectués afin d'être compatibles avec ces caractéristiques qui sont :

- **exhaustivité :** toutes les sources entrant dans le périmètre défini par le ou les inventaires doivent être traitées.
- **cohérence** : les séries doivent être homogènes au fil des années.
- **exactitude / incertitude** : les estimations doivent être aussi exactes que possible compte tenu des connaissances du moment. Ces estimations ne pouvant souvent être très précises compte tenu de la complexité des phénomènes mis en jeu et des difficultés à les mesurer ou les modéliser, elles doivent être accompagnées des incertitudes associées.
- **transparence** : les méthodes et les données utilisées doivent être clairement explicitées pour pouvoir être évaluées dans le cadre de la validation et de la vérification. En conséquence, la traçabilité des données est indispensable. Les données doivent être enregistrées et accessibles. Cette caractéristique est également très utile pour la mise à jour ou la comparaison des inventaires. Cependant, elle peut être limitée dans quelques cas par le respect de la confidentialité.
- **comparabilité** : les inventaires doivent autant que possible pouvoir être comparés. Cette comparaison peut porter sur les aspects géographiques et temporels aussi bien que sur les sources prises en compte (mêmes sources, mêmes méthodologies dans le même espace-temps). Cette qualité requiert généralement une adéquation avec les autres qualités citées ci-dessus et l'utilisation de référentiels identiques ou au moins compatibles.
- **confidentialité** : le respect de certaines règles légales ou contractuelles limite l'accès à certaines informations. Les données communiquées dans les inventaires doivent respecter les règles de confidentialité qui sont éventuellement définies.
- **ponctualité** : le dispositif d'élaboration des inventaires doit permettre de produire ceux-ci dans les délais requis.

**Dispositions opérationnelles relatives à l'élaboration et au rapport des émissions**

Les inventaires d'émission comportent deux phases types (voir schéma page suivante) :

- une **phase d'élaboration des émissions** des différentes sources émettrices prises en compte en fonction des spécifications de chaque inventaire. Le système d'inventaire doit, au titre de cette phase, considérer des entités suffisamment fines quant au type de source émettrice pour que l'estimation des rejets soit tout à la fois aussi exacte que possible, et qu'elle se conforme autant que possible aux critères définissant l'appartenance aux différentes catégories visées dans la phase de rapport des émissions. L'application de cette clause à l'ensemble des demandes que le système doit satisfaire, conduit à décomposer les types de source en éléments assez fins en fonction :

- du secteur, de la branche ou de l'activité économique,
- du type de procédé,
- de la nature des équipements utilisés,
- de la présence et du type d'équipements de prévention ou de réduction des émissions,
- de la capacité de production ou de fonctionnement de l'installation,
- de l'âge de l'installation ou de l'ancienneté de certains équipements,
- de divers paramètres liés aux conditions opératoires, etc.

- une **phase de rapport des émissions** des différentes sources émettrices prises en compte en fonction des catégories définies dans les formats spécifiques de rapportage. Ces derniers font partie des spécifications requises de la part des instances internationales comme les Nations unies et la Commission européenne.

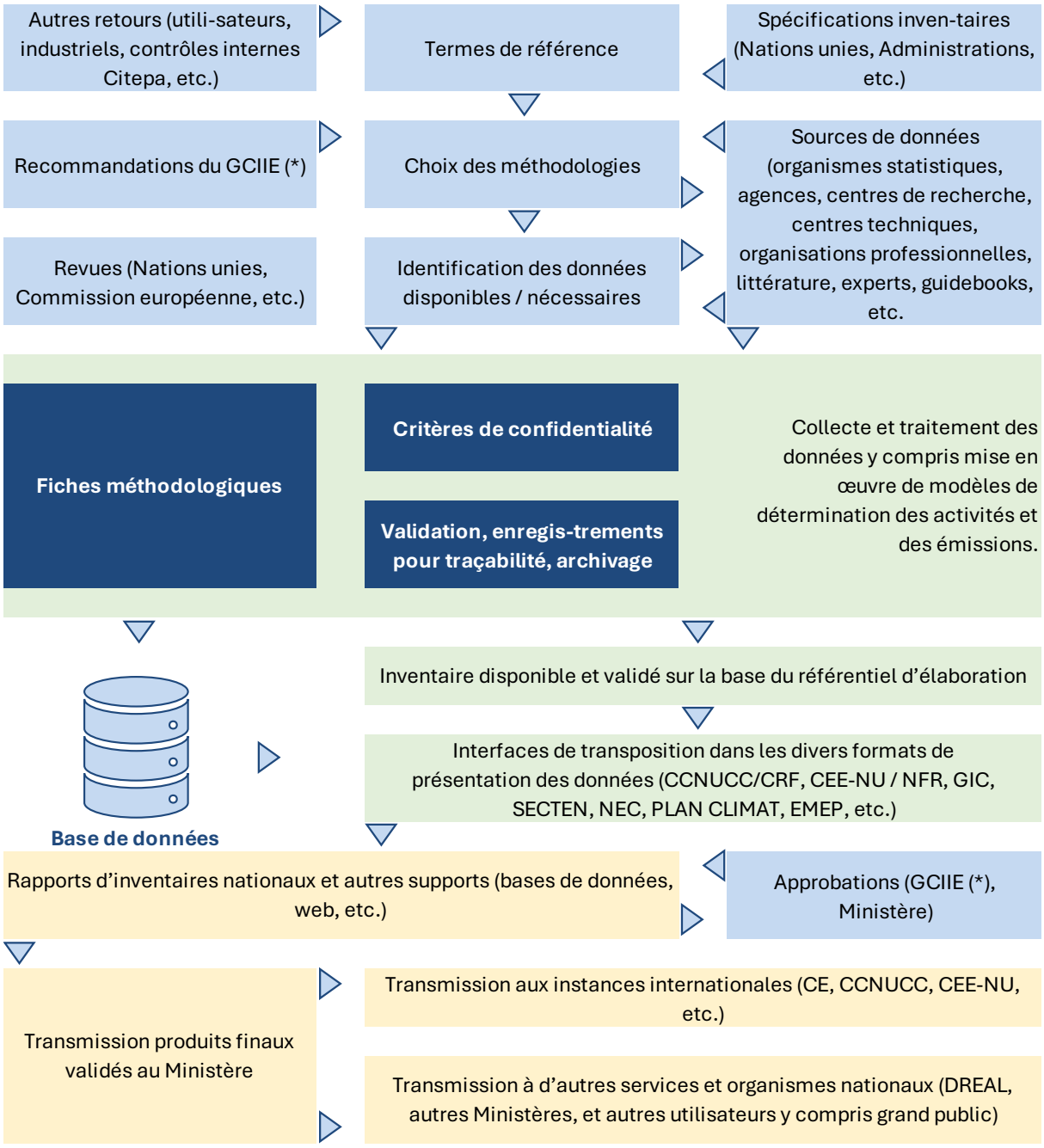
Le tableau ci-dessous dresse la liste des principaux formats produits par le SNIEBA.

**Tableau 3 : Principaux formats de rapportage produits par le SNIEBA**

| | |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

**Schéma opérationnel simplifié du système d'inventaire**

**Figure 2 : Schéma opérationnel simplifié du système d'inventaire**




* Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émissions

**Référentiels**

Les différents éléments constitutifs des inventaires d'émission doivent être définis avec soin et de façon transparente. Les référentiels utilisés doivent également assurer la compatibilité avec les exigences internationales et les différentes applications supportées par le SNIEBA. Les éléments faisant appel à des référentiels sont :

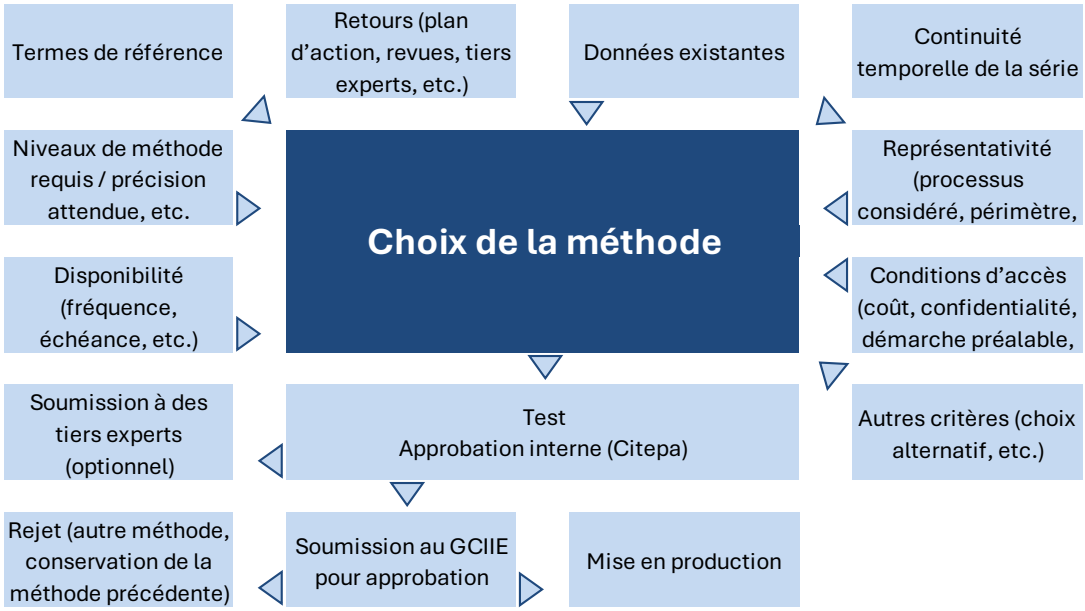
**Tableau 4 : Présentation des différents référentiels utilisés**

| | | |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

**Choix des méthodologies**

S'agissant de la conception des éléments de l'inventaire, le choix des méthodes d'estimation prend en compte divers aspects et passe par une étape de test et d'approbation du GCIIE comme illustré dans la figure ci-après. L'approche rationnelle de ces choix est développée dans la section « rationale_COM » du présent rapport.

**Figure 3 : Choix des méthodologies**




**Nature des données collectées**

Les données sont de natures très diverses et en quantités assez considérables. Les informations utilisées sont décrites précisément dans chaque section du présent rapport relativement aux différents types de sources et de polluants.

La liste ci-dessous relative à la nature des données ne saurait prétendre à l'exhaustivité mais regroupe l'essentiel des cas rencontrés :

**Tableau 5 : Données collectées et leurs sources**

| Secteur | Type de données | Organisme actuel émetteur des données |
|---|---|---|
| **Energie** | Bilan de l'énergie<br>Consommations d'énergie en France<br>Consommation et ventilation des produits pétroliers à usage non énergétique<br>Consommations d'énergie dans l'industrie.<br>Consommations d'énergie dans le résidentiel et le tertiaire<br>Consommation d'énergies renouvelables dans l'industrie et le résidentiel/tertiaire<br>Bilan de la pétrochimie | Ministère chargé de l'environnement (CGDD) et Ministère chargé de l'industrie (INSEE) |
| | Déclarations annuelles des rejets polluants de certaines installations classées | Ministère chargé de l'environnement (DGPR) |
| | Consommations d'énergie dans les industries agricoles et alimentaires (IAA) | Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche (SSP) |
| | Comptes des transports de la nation<br>Statistiques du transport maritime<br>Statistiques du transport aérien | Ministère chargé des transports (CGDD, DGITM, DGAC) |
| **Procédés industriels** | Déclarations des rejets polluants de certaines installations classées (dont les émissions SEQE) | Ministère chargé de l'environnement (DGPR) |
| | Production des IAA – Enquêtes de branches | Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche (SSP) |
| | Statistiques industrielles | Ministère chargé de l'industrie (INSEE) |
| | Données des flux de fluides frigorigènes en France | ADEME (OFF) |
| **Utilisation de solvants et autres produits** | Déclarations des rejets polluants de certaines installations classées | Ministère chargé de l'environnement (DGPR) |
| | Production, imports et exports, consommation de peinture/encre/colle | Ministère chargé de l'industrie (INSEE) |
| **Agriculture** | Statistiques agricoles<br>Caractérisation des modes d'élevage (mode de gestion des déjections, bâtiments), caractérisation des pratiques culturales<br>Facteurs d'émission | Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche (SSP), INRA |
| **UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)** | Statistiques forestières<br>Utilisation du territoire<br>Récolte de bois et production de sciages | Ministère chargé de l'agriculture (SSP) |
| | Accroissement et stocks forestiers en métropole | IGN |
| | Température/rayonnement solaire global | Réseau RenEcofor/ONF |
| **Déchets** | Inventaire des installations de traitement des déchets ménagers et assimilés<br>Statistiques déchets de soins à risques<br>Statistiques déchets industriels | ADEME et Ministère chargé de l'environnement (DGPR) |

| | | |
|---|---|---|
| | Déclarations des rejets polluants<br>Surveillance dioxines/métaux lourds des usines d'incinération | Ministère chargé de l'environnement (DGPR) |

- Statistiques professionnelles provenant d'organismes représentatifs d'un secteur d'activité (syndicats, fédérations, etc.). Ces organismes sont dans nombre de cas producteurs de statistiques officielles et mandatées par des organismes statistiques publics. Ils disposent aussi de données accessibles mais généralement diffusées dans des cercles plus restreints. C'est le cas pour de nombreux secteurs industriels (chimie, sidérurgie, chauffage urbain, etc.). Il convient de citer particulièrement les publications du CPDP et notamment la parution annuelle de « Pétrole » qui produit un grand nombre de données utilisées dans les inventaires.

- Données administratives qui résultent :
  - d'une part, de la mise en œuvre de dispositions réglementaires. Le flux le plus notable s'inscrivant dans cet item est la déclaration annuelle des rejets des installations classées soumises à autorisation qui conduit plus de 10 000 exploitants, de l'industrie et de l'agriculture principalement, à remplir des déclarations par voie électronique, chaque année, concernant leurs rejets dans l'air, dans l'eau, dans le sol, de déchets et les transferts. Ce dispositif est conçu pour répondre à plusieurs usages dont l'alimentation des inventaires d'émission dans l'air, le rapportage à l'E-PRTR, et le rapportage au SEQE, ce qui permet d'obtenir par construction des données homogènes et spécifiques des différents procédés et de leurs conditions de fonctionnement au sein d'une même activité. De nombreuses informations sont collectées concernant la définition des installations et sous-installations, leurs activités, les caractéristiques des produits et des combustibles, des méthodes d'estimation des émissions, etc. Ces données ne sont pas publiques (à l'exception des émissions proprement dites), mais le Ministère chargé de l'environnement les met à disposition du Citepa.
  - d'autre part, d'enquêtes réalisées pour le compte et/ou par les Administrations ou les Agences publiques (i.e. ADEME) ainsi que de Commissions. Dans ce cadre, figurent, par exemple, l'enquête ITOM relative aux installations de traitement des déchets, le rapport de la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN), etc.
- Avis d'experts qui regroupent des personnes du secteur public ou du secteur privé. Ces avis portent aussi bien sur des points de détail précis que sur des éléments plus globaux. Certains de ces avis peuvent être recueillis à titre confidentiel. Lorsqu'il est recouru à de tels avis, ce fait est mentionné (cf. sections spécifiques aux différentes catégories de sources). Prennent également place dans cette catégorie les échanges avec des pairs (consultations bilatérales).
- Littérature qui englobe :
  - études et articles publiés,
  - études non publiques,
  - guides parmi lesquels il est possible de distinguer ceux émanant :
    - → d'institutions internationales comme le GIEC, EMEP/EEA,
    - → de pays (EPA, OFEFP/OFEV, etc.),
    - → de guides sectoriels.
  - rapports d'inventaire d'autres pays.

**Procédures opérationnelles**

Au niveau opérationnel, une fois les termes de référence établis et les méthodologies définies, la phase de production des inventaires s'appuie sur des procédures qui portent sur :

- la réception des données (matière première des inventaires),
- le traitement des informations,
- le stockage des données brutes et des données traitées à différentes étapes,
- le calcul des émissions,
- l'élaboration des différents supports (rapports, tables, autres supports numériques),
- la validation aux différentes étapes du processus et, in fine, la validation des résultats des inventaires par le Ministère chargé de l'environnement après avis du GCIIE,
- la diffusion des éléments prévus.

Ces différentes étapes font l'objet de procédures qui sont décrites, évaluées et améliorées progressivement avec la mise en œuvre du système de management de la qualité qui est décrit dans la section relative à l'assurance et au contrôle qualité.

### 1.2.4 Processus d'approbation officielle des inventaires

Les principaux éléments utiles à l'approbation des inventaires (résultats d'ensemble, principales analyses, changements majeurs notamment liés à des évolutions méthodologiques) sont produits et transmis au Groupe de coordination (GCIIE) plusieurs jours avant la réunion de décembre qui a pour objet principal l'approbation des nouveaux résultats d'inventaires.

La réunion du GCIIE de décembre permet de passer en revue ces résultats des nouveaux inventaires et recueillir les commentaires, avis, voire éventuelles réserves des membres du GCIIE.

In fine, c'est le Ministre en charge de l'environnement qui prend les décisions finales concernant les inventaires, notamment son approbation en fin d'année ou demande de réserve sur certains points, le cas échéant, en cas de doutes ou demande du GCIIE de vérifications complémentaires.

Si besoin, des ajustements éventuels sont apportés à l'inventaire en cours ou dans le cadre de l'application du plan d'amélioration des inventaires qui comporte des actions à plus long terme.

Les éléments finalisés de rapportage sont remis par la suite au MTE qui, après examen et approbation, les communique aux instances internationales.

## 1.3 Généralités sur les méthodes et les sources de données utilisées

L'approche générale rationnelle suivie pour la sélection et la mise en œuvre des méthodes d'estimation, le choix des données et l'atteinte d'un niveau qualitatif optimal est basée sur la recherche et la mise en œuvre en priorité de méthodes permettant d'atteindre le niveau de précision et de spécificité le plus élevé possible dans le cadre du SNIEBA.

En pratique, des optimisations sont recherchées pour tenir compte :

Toutefois, la modification des systèmes de collecte de données statistiques s'accompagne généralement d'une très forte inertie liée au cadre dans lequel le système statistique national et international est défini.

Cet aspect conduit à rechercher des données alternatives parfois moins précises et/ou plus dispersées mais susceptibles de satisfaire le besoin formulé par l'inventaire, et les engagements internationaux.

En pratique, la relative richesse du système statistique français, la forte centralisation de l'Administration, le statut et la notoriété du Citepa auprès de diverses branches industrielles et de l'Administration, conduisent à disposer d'un ensemble de données assez détaillées en comparaison à nombre de pays. Cette situation, associée à la volonté partagée de l'Administration et de nombreux acteurs, conduit à privilégier autant que possible le recours à des méthodes spécifiques nationales.

La **spécificité nationale** se traduit le plus souvent par le détail des informations et leur représentativité du cas français plutôt qu'à l'approche méthodologique proprement dite (en règle générale, les approches méthodologiques suivies sont très proches de celles présentées par le GIEC dans la définition des niveaux méthodologiques).

Les **approches « bottom-up » intégrales** sont limitées aux secteurs de l'industrie tels que la production d'électricité, le raffinage, les cokeries, les mines de charbon et, depuis une époque relativement récente, aux cimenteries, aux verreries, à la sidérurgie, etc. Cette approche est rendue possible du fait du nombre relativement restreint d'émetteurs et de l'existence d'un suivi régulier et assez précis des données nécessaires à l'estimation des émissions[7] (production, caractéristiques et consommations de combustibles, informations sur les équipements de procédés et de réduction ou de limitation des rejets, mesure ou détermination des émissions, etc.).

Des **approches mixtes « bottom-up » et « top-down »** sont mises en œuvre dans les secteurs pour lesquels les caractéristiques des installations couvrent des domaines étendus. Dans ce cas, les plus grosses installations sont étudiées individuellement et le solde, différence entre la somme des éléments connus sur une base individuelle et le total statistique,

[7] Le système de déclaration annuelle des rejets, applicable aux installations classées soumises à autorisation, permet de recenser les émissions de près de 10 000 établissements dont plus de 80% sont industriels.

est évalué selon une approche moins spécifique. Cette dernière peut, selon les cas, s'appuyer sur les éléments individuels connus du secteur étudié, des éléments moyennés au niveau national ou encore une valeur par défaut recommandée à partir de l'analyse de données exogènes plus ou moins spécifiques provenant d'un Guidebook (GIEC, EMEP/EEA, etc.), de la littérature ou encore d'autres sources (dire d'expert par exemple).

Ce cas s'applique par exemple à la combustion dans l'industrie manufacturière, le chauffage urbain, etc., où environ un millier d'installations couvertes par le SEQE (installations >20 MW), parmi les plus consommatrices d'énergie, sont recensées individuellement[8].

Pour les catégories de sources très dispersées comme les transports, le résidentiel, l'agriculture, etc., des **approches « top-down »** sont employées. Cependant, dans nombre de cas, les valeurs de nombreux paramètres proviennent d'enquêtes ou d'études spécifiques comme pour le transport routier (parc, trafic), le transport aérien (mouvements par liaison), le résidentiel (consommations de solvants, modes de chauffage), la sylviculture (inventaire forestier), le traitement des déchets ménagers (enquête individuelle des centres de traitement). Du fait du mode de compilation de certaines de ces données, il s'agit pour partie en fait de processus « bottom-up » masqués.

Ainsi, quelle que soit l'approche, de nombreuses données spécifiques à la France et aux sous-ensembles étudiés sont recherchées, fréquemment disponibles et utilisées. Les estimations des émissions sont donc beaucoup plus représentatives et, par suite, intrinsèquement plus exactes.

Un effort d'amélioration continue pour aller dans le sens d'une plus grande spécificité est maintenu en fonction des opportunités et en priorité pour les catégories de sources clé pour lesquelles des progrès sont possibles et souhaitables (variable selon les substances).

Des informations complémentaires sont présentées dans les différentes sections sectorielles apportant, le cas échéant, des précisions et des justifications sur les méthodes mises en œuvre.

## 1.3.1 Principes méthodologiques

Les émissions sont estimées pour chacune des activités émettrices élémentaires retenues pour l'inventaire en considérant séparément, s'il y a lieu, les différentes catégories de sources (surfaciques, grandes sources ponctuelles et grandes sources linéaires).

Les émissions d'une activité donnée sont exprimées par la formule générale et schématique suivante :

$$\boldsymbol{E_{s,a,t} = A_{a,t} \times F_{s,a}} \qquad (1)$$

avec E : émission relative à la substance "s" et à l'activité "a" pendant le temps "t"
A : quantité d'activité relative à l'activité "a" pendant le temps "t"
F : facteur d'émission relatif à la substance "s" et à l'activité "a".

Pour l'ensemble des activités, les émissions totales sont exprimées par la formule suivante :

$$E_{s,t} = \sum_{a=1}^{a=n} E_{s,a,t}$$

avec n : nombre d'activités émettrices prises en compte.

Il est évident que si la valeur de n diffère d'un inventaire à un autre (ce qui est souvent le cas puisque les substances et les périmètres varient d'un inventaire à l'autre), les émissions totales peuvent ne plus être comparables (inventaires à champs différents) et les contributions relatives des sources varier.

Les termes $A_{a,t}$ et $F_{s,a}$ dans la formule (1) sont en fait déterminés pour des combinaisons plus fines de l'activité associant de manière générale une opération, une technologie et un produit.

[8] Pour plus de précision sur la cohérence des émissions entre le SNIEBA et le SEQE, se reporter à la section « 1_energy introduction_COM ».

*Exemples :*

- → *Fabriquer de la chaleur au moyen d'une chaudière de 50 MW équipée d'un brûleur bas NOx fonctionnant au fioul lourd,*
- → *Se déplacer en voiture particulière équipée d'un moteur à essence de 2 l de cylindrée.*

Cette description est illustrée plus finement par la formule ci-après pour une substance, un intervalle de temps et une entité géographique donnés.

$$\boldsymbol{E_{s,t,z}} = \sum_{a,i,f} \left[ \boldsymbol{A_{a,i,f,t,z}} \times \sum_{p} \left[ \boldsymbol{F_{s,a,i,f,p}} \times \boldsymbol{P_{a,i,f,p}} \right] \right] \qquad (2)$$

avec E : émission,
A : quantité d'activité,
F : facteur d'émission,
P : fraction de secteur, d'activité, de combustible et de procédé,
a : indice relatif au type de source,
f : indice relatif au type de combustible,
i : indice relatif au secteur économique,
p : indice relatif au procédé,
s : indice relatif à la substance,
t : indice relatif à l'intervalle de temps,
z : indice relatif à l'entité géographique.

Dans certains cas, les émissions présentent des relations complexes avec de nombreux paramètres caractéristiques et il est alors nécessaire de recourir à des modèles spécifiques pour obtenir une bonne représentation des phénomènes. C'est le cas du trafic routier, des émissions biotiques, etc.

In fine, il sera toujours possible de se ramener à une expression de la forme de l'équation (1) en rapportant les émissions à un seul paramètre relatif à l'activité. Cette représentation d'une simplicité extrême, qui masque la structure réelle et éventuellement complexe des émissions de l'activité, peut conduire à des interprétations erronées.

Les Grandes Sources (Ponctuelles et Linéaires) sont étudiées individuellement ; des émissions de certaines substances qui sont mesurées en permanence ou à intervalles réguliers sur certaines installations sont disponibles. D'autres méthodes telles que des corrélations entre les paramètres caractéristiques d'un procédé et les émissions, ainsi que des bilans, permettent d'estimer les rejets spécifiques de la source considérée pour certaines substances. Les formules (1) et (2) ne sont alors utilisées qu'en partie.

Pour certaines substances ($SO_2$, NOx, CO, $CO_2$, etc.), une part importante des émissions est liée à l'utilisation de l'énergie.

Pour l'application de la formule (2), les rejets peuvent être explicités en exprimant les émissions totales d'une source comme étant égales à la somme de deux émissions distinctes (en pratique, réelles ou virtuelles selon les cas).

$$E = E_1 + E_2$$

avec $E_1$ : émission liée à la combustion d'énergie fossile et de biomasse.

$E_2$ : émission liée à d'autres phénomènes se rapportant à l'emploi de matières premières, à des réactions, à des opérations diverses (évaporation, broyage, réaction chimique, etc.).

Selon les valeurs prises respectivement par $E_1$ et $E_2$, six cas sont à considérer :

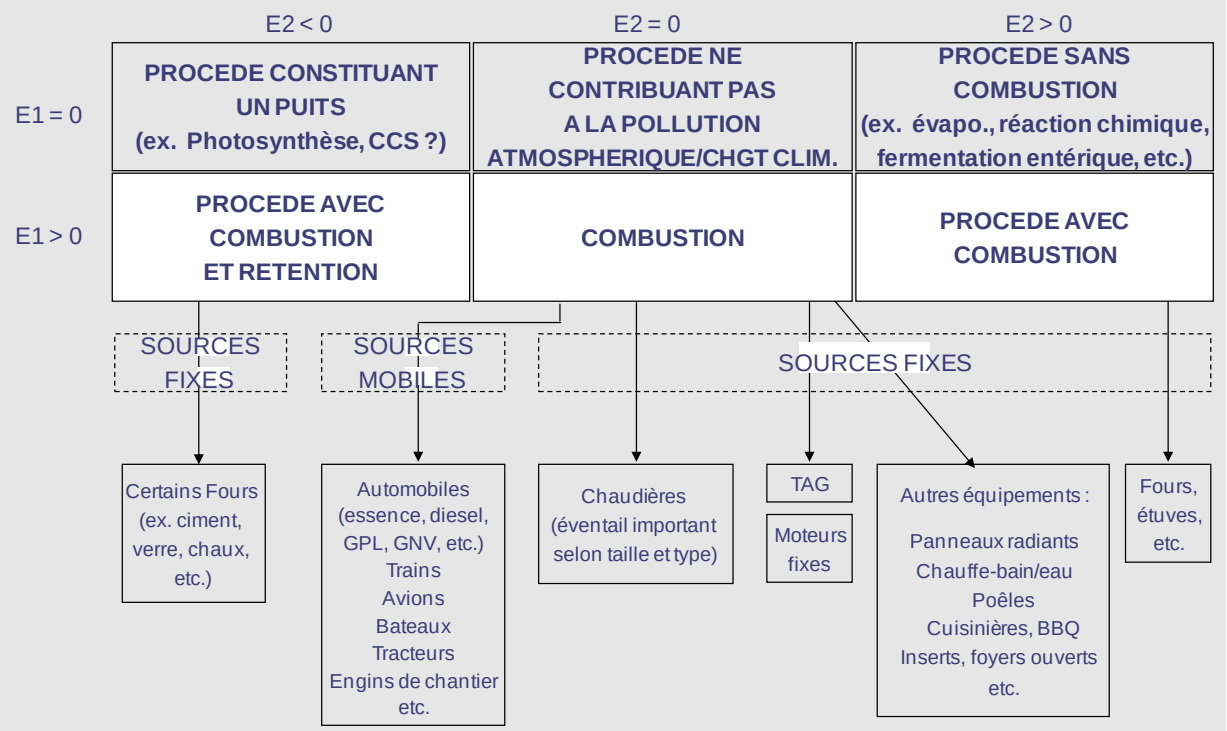
| | |
|---|---|
| $E_1 = 0 \; et \; E_2 \langle 0$ | procédé constituant un puits (émission négative, comme la photosynthèse pour le $CO_2$). |
| $E_1 \rangle 0 \; et \; E_2 \langle 0$ | procédé avec combustion et rétention. L'ensemble peut être positif ou négatif selon les cas. |
| $E_1 = E_2 = 0$ | procédé ne contribuant pas à la pollution atmosphérique ou dont la contribution est négligeable. |
| $E_1 = 0 \; et \; E_2 \rangle 0$ | procédé sans rapport avec l'utilisation de l'énergie ; les émissions proviennent de réactions chimiques, d'actions mécaniques comme le broyage, d'évaporations de produits, etc. |

$E_1 \rangle 0 \; et \; E_2 = 0$ combustion dans des procédés où il n'y a pas contact entre la flamme ou les produits de combustion et un produit tiers (e.g. combustion sous chaudière, moteurs, etc.).

$E_1 \; et \; E_2 \rangle 0$ procédé impliquant une combustion associée à d'autres phénomènes, notamment ceux où il y a contact entre une matière première ou un produit et une flamme ou les produits de la combustion (par exemple dans les fours).

Des différenciations plus fines conduisent à une caractérisation de certaines sources (cf. figure ci-dessous).

**Figure 4 : Typologie des sources au regard de l'utilisation de l'énergie**




## 1.3.2 Méthodes de calculs et facteurs d'émission utilisés

L'inventaire des émissions de gaz à effet de serre et des puits de carbone en France utilise divers niveaux de méthodologie de calculs et diverses sources de facteurs d'émission. Les tableaux ci-dessous résument les méthodes de calculs employées ainsi que les facteurs d'émission utilisés par secteurs.

**Tableau 6 : Résumé des méthodologies de calculs et des facteurs d'émission employés par secteur**

| GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES | $CO_2$ | | $CH_4$ | | $N_2O$ | | HFCs | | PFCs | | Unspecified mix of HFCs and PFCs | | $SF_6$ | | $NF_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Method applied | Emission factor | Method applied | Emission factor | Method applied | Emission factor | Method applied | Emission factor | Method applied | Emission factor | Method applied | Emission factor | Method applied | Emission factor | Method applied | Emission factor |
| **1. Energy** | T1,T2,T3,NA | D,CS,M,PS,OTH,NA | T1,T2,T3,NA | D,CR,CS,M,PS,OTH,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,M,PS,NA | | | | | | | | | | |
| 1.A. Fuel combustion | T1,T2,T3,NA | D,CS,M,PS,OTH,NA | T1,T2,T3,NA | D,CR,CS,M,PS,OTH,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,M,PS,NA | | | | | | | | | | |
| 1.A.1. Energy industries | T2,T3 | D,CS,PS,OTH | T1,T2,T3 | D,CS,PS,OTH | T1,T2,T3 | D,PS | | | | | | | | | | |
| 1.A.2. Manufacturing industries and construction | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,OTH,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | | | | | | | | | | |
| 1.A.3. Transport | T1,T2,T3,NA | D,CS,M,PS,OTH,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,M,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,M,PS,NA | | | | | | | | | | |
| 1.A.4. Other sectors | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,OTH,NA | T1,T2,NA | D,CR,CS,NA | T1,NA | D,NA | | | | | | | | | | |
| 1.A.5. Other | T1 | D,CS,PS,OTH | T1 | D,CR | T1 | D | | | | | | | | | | |
| 1.B. Fugitive emissions from fuels | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | | | | | | | | | | |
| 1.B.1. Solid fuels | NA | NA | T2,T3,NA | CS,PS,NA | NA | NA | | | | | | | | | | |
| 1.B.2. Oil and natural gas and other emissions from energy production | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | | | | | | | | | | |
| 1.C. $CO_2$ transport and storage | NA | NA | | | | | | | | | | | | | | |
| **2. Industrial processes** | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CR,CS,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | NA | NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T2,NA | CS,PS,NA |
| 2.A. Mineral industry | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | NA | NA | NA | NA | | | | | | | | | | |
| 2.B. Chemical industry | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,NA | D,NA | T2,T3,NA | CS,PS,NA | T3 | PS | T3 | PS | NA | NA | T3 | PS | NA | NA |
| 2.C. Metal industry | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CR,CS,PS,NA | NA | NA | | | T3 | PS | | | | PS | | |
| 2.D. Non-energy products from fuels and solvent use | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,NA | D,NA | T1,NA | D,NA | | | | | | | | | | |
| 2.E. Electronic Industry | | | | | NA | NA | T2,NA | CS,NA | T2,NA | CS,NA | NA | NA | T2,NA | CS,PS,NA | T2,NA | CS,PS,NA |
| 2.F. Product uses as ODS substitutes | | | | | | | T1,T2,T3 | CS,PS | | | | | | | | |
| 2.G. Other product manufacture and use | T1,T3 | D,PS | NA | NA | T1,NA | D,CS,NA | T1 | D | T1,NA | D,NA | | | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | | |
| 2.H. Other | T2,NA | CS,PS,NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| **3. Agriculture** | T1,NA | D,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,NA | T1,T2,NA | D,CS,NA | | | | | | | | | | |
| 3.A. Enteric fermentation | | | T2,T3 | CS | | | | | | | | | | | | |
| 3.B. Manure management | | | T2 | D,CS | T2 | D,CS | | | | | | | | | | |
| 3.C. Rice cultivation | | | T1,NA | D,NA | | | | | | | | | | | | |
| 3.D. Agricultural soils | | | | | T1,T2,NA | D,NA | | | | | | | | | | |
| 3.E. Prescribed burning of savannahs | | | NA | NA | NA | NA | | | | | | | | | | |
| 3.F. Field burning of agricultural residues | | | T1 | D | T1 | D | | | | | | | | | | |
| 3.G. Liming | T1 | D | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.H. Urea application | T1 | D | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.I. Other carbon-containing fertilizers | T1 | D | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.J. Other | NA | NA | NA | NA | NA | NA | | | | | | | | | | |
| **4. Land use, land-use change and forestry** | T1,T2,T3,NA | D,CS,NA | T1,T2,NA | D,NA | T1,T2,NA | D,NA | | | | | | | | | | |
| 4.A. Forest land | T1,T3,NA | D,CS,NA | T2,NA | D,NA | T1,T2,NA | D,NA | | | | | | | | | | |
| 4.B. Cropland | T1,T2,T3,NA | D,CS,NA | T1,T2,NA | D,NA | T1,T2,NA | D,NA | | | | | | | | | | |
| 4.C. Grassland | T1,T2,T3,NA | D,CS,NA | T1,T2,NA | D,NA | T1,T2 | D | | | | | | | | | | |
| 4.D. Wetlands | T1,T2,NA | D,CS,NA | T1,T2,NA | D,NA | T1,T2,NA | D,NA | | | | | | | | | | |
| 4.E. Settlements | T1,T2 | D,CS | T2 | D | T1,T2 | D | | | | | | | | | | |
| 4.F. Other land | T2 | D | NA | NA | NA | NA | | | | | | | | | | |
| 4.G. Harvested wood products | T3,NA | CS,NA | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.H. Other | T2 | CS | NA | NA | NA | NA | | | | | | | | | | |
| **5. Waste** | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | | | | | | | | | | |
| 5.A. Solid waste disposal | | | T2,NA | D,CS,NA | | | | | | | | | | | | |
| 5.B. Biological treatment of solid waste | | | T2 | D,CS | T2 | D,CS | | | | | | | | | | |
| 5.C. Incineration and open burning of waste | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | T1,T2,T3 | D,CS,PS | T1,T2,T3,NA | D,CS,PS,NA | | | | | | | | | | |
| 5.D. Waste water treatment and discharge | | | T2 | D,CS | T2 | D,CS | | | | | | | | | | |
| 5.E. Other | NA | NA | NA | NA | NA | NA | | | | | | | | | | |
| **6. Other** *(as specified in summary 1)* | | | | | | | | | | | | | | | | |

Use the following notation keys to specify the method applied:
**D** (IPCC default) **T1** (IPCC tier 1) **T1a, T1b, T1c** (IPCC tier 1a, tier 1b and tier 1c, respectively) **T2** (IPCC tier 2) **T3** (IPCC tier 3)
**CR** (CORINAIR) **CS** (country-specific) **M** (model) **RA** (reference approach) **OTH** (other)

If using more than one method within one category, list all the relevant methods. Explanations regarding country-specific methods, other methods or any modifications to the default IPCC methods, as well as information regarding the use of different methods per category where more than one method is indicated, should be provided in the documentation box. Also use the documentation box to explain the use of notation OTH.

Use the following notation keys to specify the emission factor used:
**D** (IPCC default) **CR** (CORINAIR) **CS** (country-specific)
**M** (model) **PS** (plant-specific) **OTH** (other)

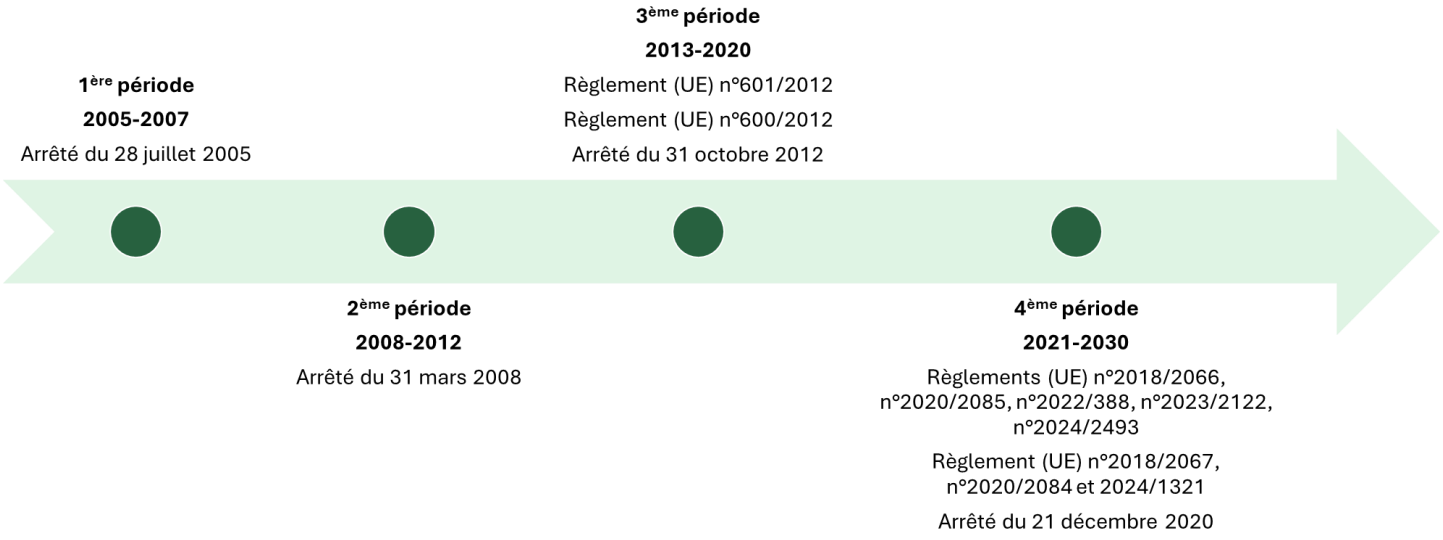
Where a mix of EFs has been used, list all the methods in the relevant cells and provide explanations in the documentation box. Also use the documentation box to explain the use of the notation key "OTH".

**Note**: Minimum level of aggregation is needed to protect confidential business and military information, where it would identify particular entity's/entities' confidential data.

### 1.3.3 Cohérence entre l'inventaire CCNUCC et les déclarations au titre du SEQE

Le système d'échange de quotas d'émission (SEQE) de gaz à effet de serre (GES) de l'Union européenne est régi par la directive européenne 2003/87/CE modifiée. A l'échelle nationale, les dispositions sont indiquées aux articles L229-5 à 19 et R229-5 à 37 du code de l'environnement.

Les quatre périodes d'échanges sont régies par les textes suivants, relatifs à la surveillance, à la quantification et la vérification des émissions au titre du SEQE :




Le champ du SEQE a été élargi à de nouveaux secteurs industriels et à de nouveaux gaz à effet de serre entre la seconde et la troisième période. A partir de janvier 2024, d'autres secteurs sont couverts par le SEQE (transport maritime et incinérateurs de déchets municipaux). La mise à la consommation de carburants et combustibles pour le secteur du transport routier et des bâtiments fait son entrée au sein d'un « SEQE II » dès 2024. La France compte à ce jour environ 1 100 installations soumises au SEQE (I). Les données relatives aux installations SEQE sont utilisées pour la préparation de l'inventaire ainsi que pour des contrôles de cohérence.

**Utilisation des données SEQE au sein de l'inventaire national**

- Pour l'estimation des émissions de $CO_2$, de $N_2O$ et de PFC déclarées au titre du SEQE, grâce à l'utilisation bottom-up des données issues des rapports annuels d'émissions vérifiés, pour de nombreux secteurs de l'industrie minérale, métallurgique et chimique, la production d'électricité ou encore le raffinage de pétrole.

  → *Amélioration de la précision de l'inventaire*

- Pour l'ajout de consommations de combustibles particuliers déclarées par les sites soumis au SEQE et ne figurant pas dans le bilan de l'énergie.

  → *Amélioration de la complétude de l'inventaire*

- Pour l'utilisation de facteurs d'émission spécifiques sectoriels, et/ou évoluant dans le temps (lorsque ces FE proviennent d'analyses en laboratoire des caractéristiques des combustibles notamment). La pertinence de l'application du facteur d'émission déduit des sites soumis au SEQE est évaluée et il peut être appliqué au solde de l'activité du secteur (lorsqu'une partie seulement du secteur est couvert par le SEQE), afin de rester cohérent avec le SEQE dans le temps.

  → *Amélioration de la précision de l'inventaire*

**Contrôles de cohérence**

Des contrôles accrus sont menés sur les données SEQE lors de la prise en compte de ces données dans l'inventaire afin de :

- Repérer et prendre en compte d'éventuels nouveaux sites non identifiés dans un secteur de l'inventaire (améliorer la complétude du secteur) ;
- Eviter des double-comptages au sein de l'inventaire dans différentes catégories CRT ;
- Contrôler la cohérence entre les émissions sectorielles SEQE et les émissions par secteur au titre de l'inventaire CCNUCC (identification des différences de méthode de rapportage des émissions entre le SEQE et les lignes directrices au titre de l'inventaire CCNUCC). Dans le cas où toutes les installations d'un secteur d'activité donné sont soumises au SEQE, la cohérence entre l'inventaire CCNUCC et le SEQE est assurée grâce à la prise en compte directe des déclarations individuelles, qui sont vérifiées par des vérificateurs accrédités et validée par l'administration française, pour la préparation de l'inventaire.

  Si une partie seulement des installations couvertes par un secteur de l'inventaire au titre de la CCNUCC entre dans le champ du SEQE, les déclarations correspondantes sont prises en compte et les émissions des autres installations sont calculées grâce à des données individuelles (déclarations individuelles au titre de l'arrêté du 31 janvier 2008 modifié (GEREP) par exemple) ou des statistiques sectorielles.

  Notamment, il est vérifié que les émissions totales d'un secteur SEQE ne dépassent pas les émissions du secteur correspondant (CRT) de l'inventaire. Cela peut néanmoins arriver mais est justifié (par exemple : la comptabilisation des émissions liées à la production de l'urée sont comptabilisées chez le producteur au titre du SEQE, mais chez le consommateur au titre de l'inventaire national). Cette répartition des émissions et la vérification de la cohérence entre l'inventaire des émissions et les données SEQE est exigée dans le cadre du rapportage au titre du règlement (UE) 2018/1999 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat.

La prise en compte des déclarations annuelles des émissions dans le cadre de la préparation de l'inventaire est détaillée plus spécifiquement dans les sections relatives à chaque secteur.

# 1.4 Catégories clés

Selon les recommandations du GIEC, une analyse des catégories clés est effectuée dans cette section. Elle est réalisée globalement sur la base des contributions en $CO_2$ équivalent des différentes sources à un niveau sectoriel plus fin que celui par défaut et pour les sept gaz à effet de serre direct. Suivant les recommandations du GIEC, cette analyse est effectuée par type de combustible pour les installations de combustion.

**Deux analyses différentes sont proposées de type Tier 1 :**

- la première **hors UTCATF**[9] permettant d'évaluer les contributions des différentes sources vis-à-vis d'objectifs hors UTCATF ,
- la seconde **avec UTCATF** pour répondre aux recommandations tout secteur de la CCNUCC.

**De plus, une analyse de Tier 2 avec UTCATF est conduite en complément de l'analyse Tier 1 (cf. §1.4.2 ci-dessous).**

## 1.4.1 Analyse Tier 1

### 1.4.1.1 Catégories clés hors UTCATF

**Le premier tableau** de l'annexe 1 dresse la liste des catégories clés **dont les émissions cumulées atteignent 95 % des émissions totales hors UTCATF en 2023**. Il convient de noter que, malgré une analyse sectorielle relativement fine, les 19 premières sources représentent plus de 80 % du total, que les 32 premières sources représentent plus de 90 % du total, et que 45 sources forment l'ensemble des catégories clés relatives à 95 % des émissions totales hors UTCATF.

Il ressort que le $CO_2$ du transport routier participe à lui seul pour plus d'un quart (30,7 %) du total des émissions hors UTCATF en 2023. Le $CH_4$ de la fermentation entérique de l'élevage contribue à hauteur de 9,8 % des émissions totales en équivalent

[9] UTCATF : Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie

$CO_2$ ; vient ensuite le $CO_2$ de la combustion du gaz naturel dans le secteur résidentiel contribuant à hauteur de 5,3 %. En y ajoutant le $N_2O$ provenant des émissions directes des sols agricoles (3,7 %) ainsi que le $CH_4$ des sites d'enfouissement des déchets (3,1 %), ces cinq entités représentent plus de la moitié (52,6 % précisément) des émissions de gaz à effet de serre en France en 2023 hors UTCATF. Parmi les catégories clés (à 95 %), sur les 7 gaz à effet de serre direct, le $CO_2$ représente environ 71 % des émissions totales hors UTCATF avec 34 catégories sur 45.

**Le deuxième tableau** de l'annexe 1 dresse la liste des catégories clés **dont les émissions cumulées atteignent 95 % des émissions totales hors UTCATF en 1990**.

Il ressort que le $CO_2$ du transport routier était déjà à l'époque la première source d'émission de gaz à effet de serre en France mais avec une contribution (20,9 %) au total des émissions nationales hors UTCATF, inférieure à celle de 2023. Le $CH_4$ de la fermentation entérique de l'élevage contribuait en 1990 à hauteur de 8,6 % alors que le $CO_2$ de la combustion du charbon dans la production d'électricité et de chaleur avait un impact plus important sur l'inventaire puisqu'il occupait le troisième rang et contribuait en 1990 à 6,8 % des émissions totales en équivalent $CO_2$ (21$^{ème}$ rang en 2023, contribuant à 1,1 % du total national). En 1990, 56 sources forment l'ensemble des catégories clés relatives à 95 % des émissions totales hors UTCATF.

**Le troisième tableau** présenté en annexe 1, concerne l'analyse des catégories clés **au regard des évolutions dans le temps entre 1990 et 2023 hors UTCATF**. Ce tableau montre que la plupart des catégories clés en niveau d'émissions constituent aussi les catégories clés en termes d'évolution. Cependant, la présence d'autres sources est relevée telles que :

- la baisse très importante des émissions de PFC de la production d'aluminium et de produits fluorés,
- la baisse des émissions de HFC lors de leur production, alors que leur utilisation entraîne une très forte augmentation des émissions de HFC, notamment dans les systèmes de réfrigération et climatisation (6$^{ème}$ catégorie clé en évolution),
- la baisse des émissions de $N_2O$ dans l'industrie chimique (acides adipique (2B3), nitrique (2B2) et glyoxylique (2B4)),
- la baisse dans plusieurs secteurs de la consommation de charbon, pour un recours plus accru au gaz naturel.

Ainsi, alors que 45 sources suffisent pour atteindre le seuil de 95 % en niveaux d'émissions, il faut 59 sources pour atteindre ce même seuil pour l'analyse des évolutions des émissions.

Les cinq premières catégories clés en termes d'évolution sont :

- le $CO_2$ du transport routier (déjà au 1$^{er}$ rang des contributeurs en émissions), pour son poids important et son évolution à la hausse (contribue à hauteur de 18,0 % en évolution),
- le $CO_2$ issu de la combustion du charbon pour la production d'électricité et le chauffage urbain, pour son poids relatif et son évolution à la baisse (contribution en évolution de 10,5 %),
- le $CO_2$ de la combustion de produits pétroliers du secteur résidentiel, pour son évolution à la baisse au profit du gaz naturel notamment, et sa contribution en tendance à hauteur de 5,7%.
- le $CO_2$ issu de la combustion de gaz naturel dans la production d'électricité et de chaleur, pour son poids relatif en 2023 (6$^{ème}$ rang des contributions absolues en 2023), alors qu'il ne faisait pas partie des catégories clés en 1990 (contribution à hauteur de 5,1 % en évolution),
- le $N_2O$ de la production d'acide adipique, en très forte baisse sur la période (contribution à hauteur de 4,2 % en évolution).

#### 1.4.1.2 Catégories clés avec UTCATF

Il s'agit de la même analyse que précédemment mais en y incluant l'UTCATF en valeur absolue (la catégorie UTCATF est au bilan global un poste contribuant de manière significative au niveau des émissions et à leur évolution). L'analyse porte en conséquence sur le total hors UTCATF auquel s'ajoute la valeur absolue des postes (émissions ou absorptions) de l'UTCATF en $CO_2$ équivalent.

Compte tenu de l'importance des émissions de l'UTCATF, 5 sous-catégories viennent s'intercaler par rapport à l'analyse des catégories clés en niveaux d'émission hors UTCATF en 2023, formant un total de 50 catégories clés (8 sous catégories en 1990 pour un total de 62 catégories clés). La catégorie 4A1 relative aux « forêts restant forêts », traduisant le bilan forestier (croissance, mortalité et récolte de bois), se place en 3ème position des catégories clés en niveau d'émission avec 8 % en 2023. Cette catégorie contribuait également en 1990 avec 3,9 % en niveau d'émission et se classait au 6ème rang. Le transport routier conserve la première place mais sa contribution augmente à 25,6 % en 2023, alors qu'elle était à 17,9 % en 1990 avec UTCATF. Les autres catégories UTCATF qui apparaissent sont des puits et/ou des sources de $CO_2$ ou des sources de $N_2O$, selon les cas, et représentent 15,7 % des émissions françaises avec les émissions UTCATF en absolu en 2023 (13,9 % en 1990).

D'autre part, 8 sous-catégories de l'UTCATF sont catégories clés en termes d'évolution de la tendance. La catégorie 4A2 des « terres devenant forêts» se place en 3ème position (5,4 % de contribution) suite à sa forte réduction depuis 1990, suivie par la catégorie 4G des « produits bois » qui se place en 8ème position (2,8 %) des catégories clés en termes d'évolution, suivie en 13ème position par les « terres devenant terres cultivées » (4B2, 2,3 %) et en 20ème position par les « terres converties en prairies » (4C2, 1,2 %). Les autres catégories de l'UTCATF étant catégories clés, en termes d'évolution de la tendance, sont situées en 21ème, 26ème, 51ème et 57ème positions.

➔ *Les résultats détaillés sont disponibles en annexe 1.*

## 1.4.2 Analyse Tier 2

Cette analyse pondère les niveaux d'émissions et les évolutions avec les niveaux d'incertitude associés à chaque secteur considéré. Ceci permet d'obtenir une classification des catégories clés qui diffère sensiblement de celle réalisée avec le Tier 1, et qui met en exergue de façon complémentaire les secteurs ne ressortant pas forcément en première analyse, mais potentiellement significatifs du fait de l'incertitude élevée qui leur est associée.

Seule l'analyse Tier 2 avec UTCATF a été réalisée.

Les tableaux présentant les résultats, ainsi que les différences observées avec la classification obtenue au Tier 2, sont disponibles en annexe 1. Le premier tableau dresse la liste des catégories clés en niveau classées selon leurs émissions pondérées avec l'incertitude associée en 2023. Alors que l'analyse Tier 1 a fait apparaître 50 sources formant l'ensemble des catégories clés relatives à 95 % des émissions totales avec UTCATF en 2023, la liste se réduit à 30 sources pour l'analyse Tier 2 portant sur les incertitudes associées aux différentes sources clés relatives à 90 %.

Compte tenu de la prise en compte de l'incertitude associée aux catégories dans l'analyse Tier 2, l'ordre des catégories clés est différent de celui apparaissant dans l'analyse Tier 1. Ainsi, la première catégorie clé au titre de l'analyse de Tier 2 en niveau en 2023 est le $CH_4$ des installations de stockage de déchets non dangereux (5A, 21,0 %). Puis vient le $N_2O$ des émissions indirectes des sols agricoles (3D2), qui contribue à 8,4 % à la pondération Tier 2. Viennent ensuite les absorptions de $CO_2$ des terres converties en forêt (4A2, 7,8 %) et des forêts restant forêts (4A1, 6,7 %), le $CH_4$ de la fermentation entérique des animaux d'élevage (3A, 6,0 %), et le $N_2O$ des émissions directes des sols agricoles (3D1, 5,9 %). Ces 6 premières catégories représentent à elles seules plus de la moitié du total des contributions Tier 2 en 2023 (55,6 % exactement). Ceci reflète l'impact potentiellement très important des sources couplant à la fois des niveaux d'émission significatifs et une grande incertitude associée.

Il convient de noter également que de nouvelles catégories clés apparaissent en 2023 avec l'analyse Tier 2, alors qu'elles ne ressortaient pas dans les catégories clés Tier 1. Il s'agit par exemple du $N_2O$ émis par les combustibles liquides consommés dans l'agriculture/foresterie (1A4c, 0,8 %), du $CH_4$ émis par les émissions fugitives des combustibles et du gaz naturel (1B2b, 0,7 %) et par les traitements biologiques des déchets (5B, 0,7 %), respectivement aux 19ème, 20ème et 21ème rangs Tier 2. Les émissions de $CO_2$ des prairies restant prairies (4C1, 0.7 %), des terres cultivées restant terres cultivées (4B1, 0.6 %), des produits ligneux récoltés (4G, 0,5 %) et le $N_2O$ des terres converties en terres cultivées (4B2, 0.5 %) apparaissent en Tier 2 également. A noter également que, du fait des incertitudes relativement faibles sur les émissions de $CO_2$, le secteur du transport routier passe du 1er rang avec l'analyse Tier 1 au 10ème rang avec l'analyse Tier 2.

Le deuxième tableau dresse la liste des catégories clés en niveau classées selon leurs émissions pondérées avec l'incertitude associée en **1990**. Alors que l'analyse Tier 1 a fait apparaître 62 sources formant l'ensemble des catégories clés relatives à 95 % des émissions totales avec UTCATF en 1990, la liste se réduit à 33 sources pour l'analyse Tier 2 portant sur les incertitudes associées aux différentes sources clés relatives à 90 %. L'ensemble des catégories clés qui se distinguent en Tier 2 étaient déjà catégories clés en Tier 1. La première catégorie clé au titre de l'analyse de Tier 2 en niveau en 1990 est, comme en 2023, le $CH_4$ des installations de stockage de déchets non dangereux (5A, 17,1 %). Viennent ensuite le $CO_2$ des

terres converties en forêts (4A2, 8,3 %) et des terres converties en terres cultivées (4B2, 8,3 %), et le $N_2O$ indirect des sols agricoles (3D2, 7,9 %).

Concernant l'analyse des catégories clés Tier 2 au regard des **évolutions** pondérées par les incertitudes entre 1990 et 2023, celle-ci est présentée dans le dernier tableau de l'annexe 1. Alors que l'analyse Tier 1 a fait apparaître 66 sources formant l'ensemble des catégories clés relatives à 95 % de l'évolution avec UTCATF, la liste se réduit à 41 sources pour l'analyse Tier 2 portant sur les incertitudes associées aux différentes sources clés relatives à 90 %. Les sources prépondérantes sont :

- le puits de $CO_2$ des produits bois (4G), à la première place avec une contribution de 13,8 %,
- le puits de $CO_2$ des « terres converties en forêts» (4A2), à la deuxième place avec une contribution de 13,6 %.
- le $CH_4$ provenant des installations de stockage de déchets non dangereux (5A) en 3ème place avec une contribution de 12,8 %.
- les émissions de $CO_2$ des terres converties en cultures (4B2), à la 4ème place avec une contribution de 4,6 %,
- les émissions de HFC des systèmes de réfrigération (2F1) à la 5ème place avec une contribution de 4,4 %.
- ➢ enfin, les émissions indirectes de $N_2O$ des sols agricoles (3D2) à la 6ème place avec une contribution de 3,3 %.

### 1.4.3 Vue d'ensemble des sources clés

Des tableaux résumant les différentes catégories clés par niveau d'émissions et par évolutions (avec et hors UTCATF) sont présentés ci-après pour les années 1990 et 2023 :

## Tableau 7 : Résumé des sources clés en 1990 avec et hors UTCATF

| KEY CATEGORIES OF EMISSIONS AND REMOVALS | Gas | Criteria used for key source identification (excluding LULUCF) L,T1 | Criteria used for key source identification (including LULUCF) L,T1 | Criteria used for key source identification (including LULUCF) L,T2 | Key category excluding LULUCF | Key category including LULUCF |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| Indirect CO2 | CO2 | X | X | X | X | X |
| 1A1a Public Electricity and Heat Production / coal | CO2 | X | X | X | X | X |
| 1A1a Public Electricity and Heat Production / oil | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A1a Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A1b Petroleum Refining / oil | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2a Iron and Steel / coal | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2a Iron and Steel / gas | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2a Iron and Steel / oil | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2c Chemicals / coal | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2c Chemicals / gas | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2c Chemicals / oil | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2d Pulp, Paper and Print / gas | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2d Pulp, Paper and Print / oil | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / coal | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / gas | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / oil | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2f Non-metallic minerals / coal | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2f Non-metallic minerals / gas | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2f Non-metallic minerals / oil | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A2g Manufacturing Industries / Other | CO2 | X | X | X | X | X |
| 1A3a Domestic Aviation | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A3b Road Transportation | CO2 | X | X | X | X | X |
| 1A3d Domestic navigation | CO2 | X | X | X | X | X |
| 1A4a Commercial/Institutional / coal | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A4a Commercial/Institutional / gas | CO2 | X | X | X | X | X |
| 1A4a Commercial/Institutional / oil | CO2 | X | X | X | X | X |
| 1A4b Residential / biomass | CH4 | X | X | X | X | X |
| 1A4b Residential / coal | CO2 | X | X | | X | X |
| 1A4b Residential / gas | CO2 | X | X | X | X | X |
| 1A4b Residential / oil | CO2 | X | X | X | X | X |
| 1A4c Agriculture/Forestry/Fishing / oil | CO2 | X | X | X | X | X |
| 1A4c Agriculture/forestry/fishing / oil | N2O | | | X | | X |
| 1A5a Other stationary | CO2 | X | X | | X | X |
| 1B1a Coal Mining and handling | CH4 | X | X | X | X | X |
| 1B2a Fugitive Emissions from Fuels / Oil | CO2 | X | X | | X | X |
| 1B2b Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas | CH4 | X | X | X | X | X |
| 2A1 Cement Production | CO2 | X | X | X | X | X |
| 2A2 Lime Production | CO2 | X | X | | X | X |
| 2B1 Ammonia Production | CO2 | X | X | | X | X |
| 2B10 Chemical Industry / Other | CO2 | X | | | X | |
| 2B2 Nitric Acid Production | N2O | X | X | | X | X |
| 2B3 Adipic Acid Production | N2O | X | X | X | X | X |
| 2B4 Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production | N2O | X | X | | X | X |
| 2B8 Petrochemical and carbon black production | CO2 | X | X | | X | X |
| 2B9 Fluorochemical production | HFC | X | X | X | X | X |
| 2C1 Iron and Steel Production | CO2 | X | X | X | X | X |
| 2C3 Aluminium Production | PFC | X | X | | X | X |
| 3A Enteric Fermentation | CH4 | X | X | X | X | X |
| 3B Manure Management | CH4 | X | X | X | X | X |
| 3B Manure Management | N2O | X | X | X | X | X |
| 3D1 Direct N2O emissions from managed soils | N2O | X | X | X | X | X |
| 3D2 Indirect N2O Emissions from managed soils | N2O | X | X | X | X | X |
| 4A1 Forest Land remaining Forest Land | CO2 | | X | X | | X |
| 4A2 Land converted to Forest Land | CO2 | | X | X | | X |
| 4B1 Cropland remaining Cropland | CO2 | | X | X | | X |
| 4B2 Land converted to Cropland | CO2 | | X | X | | X |
| 4B2 Land converted to Cropland | N2O | | X | X | | X |
| 4C1 Grassland remaining Grassland | CO2 | | | X | | X |
| 4C2 Land converted to Grassland | CO2 | | X | X | | X |
| 4E Settlements | CO2 | | X | X | | X |
| 4G Harvested wood products | CO2 | | X | X | | X |
| 5A Solid Waste Disposal | CH4 | X | X | X | X | X |
| 5C Incineration and open burning of waste | CO2 | X | X | | X | X |
| 5D Wastewater treatment and discharge | CH4 | X | | | X | |
| 5D Wastewater treatment and discharge | N2O | X | X | | X | X |
| 5D Wastewater treatment and discharge | CH4 | X | X | | X | X |

## Tableau 8 : Résumé des sources clés en 2023 avec et hors UTCATF

| KEY CATEGORIES OF EMISSIONS AND REMOVALS | Gas | Criteria used for key source identification (excluding LULUCF) | | Criteria used for key source identification (including LULUCF) | | Criteria used for key source identification (including LULUCF) | | Key category excluding LULUCF | Key category including LULUCF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | L,T1 | T,T1 | L,T1 | T,T1 | L,T2 | T,T2 | | |
| Indirect CO2 | CO2 | | | | | | | | |
| 1A1a Public Electricity and Heat Production / coal | CO2 | X | X | X | X | | X | X | X |
| 1A1a Public Electricity and Heat Production / gas | CO2 | X | X | X | X | | X | X | X |
| 1A1a Public Electricity and Heat Production / oil | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1A1a Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels | CO2 | X | X | X | X | | X | X | X |
| 1A1b Petroleum Refining / gas | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1A1b Petroleum Refining / oil | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1A2a Iron and Steel / coal | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1A2a Iron and Steel / gas | CO2 | X | | X | | | | X | X |
| 1A2a Iron and Steel / oil | CO2 | | X | | X | | | X | X |
| 1A2b Non-Ferrous Metals / coal | CO2 | | X | | X | | | X | X |
| 1A2c Chemicals / coal | CO2 | | X | | X | | | X | X |
| 1A2c Chemicals / gas | CO2 | X | | X | | | | X | X |
| 1A2c Chemicals / oil | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1A2c Chemicals / other fossil fuels | CO2 | | X | | X | | | X | X |
| 1A2d Pulp, Paper and Print / coal | CO2 | | X | | X | | | X | X |
| 1A2d Pulp, Paper and Print / gas | CO2 | X | | X | | | | X | X |
| 1A2d Pulp, Paper and Print / oil | CO2 | | X | | X | | | X | X |
| 1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / coal | CO2 | | X | | X | | | X | X |
| 1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / gas | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / oil | CO2 | | X | | X | | | X | X |
| 1A2f Non-metallic minerals / coal | CO2 | | X | | X | | | X | X |
| 1A2f Non-metallic minerals / gas | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1A2f Non-metallic minerals / oil | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1A2f Non-metallic minerals / other fossil fuels | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1A2g Manufacturing Industries / Other | CO2 | X | X | X | | X | | X | X |
| 1A2g Manufacturing Industries / Other | N2O | | | | | | X | | X |
| 1A3a Domestic Aviation | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1A3b Road Transportation | CH4 | | X | | X | | | X | X |
| 1A3b Road Transportation | CO2 | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 1A3b Road Transportation | N2O | X | X | X | X | | | X | X |
| 1A3d Domestic navigation | CO2 | X | | X | | | | X | X |
| 1A4a Commercial/Institutional / coal | CO2 | | X | | X | | | X | X |
| 1A4a Commercial/Institutional / gas | CO2 | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 1A4a Commercial/Institutional / oil | CO2 | X | X | X | X | | X | X | X |
| 1A4b Residential / biomass | CH4 | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 1A4b Residential / coal | CO2 | | X | | X | | | X | X |
| 1A4b Residential / gas | CO2 | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 1A4b Residential / oil | CO2 | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 1A4c Agriculture/Forestry/Fishing / oil | CO2 | X | X | X | X | X | | X | X |
| 1A4c Agriculture/forestry/fishing / oil | N2O | | | | | X | X | | X |
| 1A5a Other stationary | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1B1a Coal Mining and handling | CH4 | | X | | X | | X | X | X |
| 1B2a Fugitive Emissions from Fuels / Oil | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 1B2b Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas | CH4 | | | | | X | X | | X |
| 1B2b Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas | CO2 | | X | | | | | X | |
| 2A1 Cement Production | CO2 | X | X | X | X | X | | X | X |
| 2A2 Lime Production | CO2 | X | | X | | | | X | X |
| 2B1 Ammonia Production | CO2 | | X | | X | | | X | X |
| 2B10 Chemical Industry / Other | CO2 | X | X | X | X | | | X | X |
| 2B2 Nitric Acid Production | N2O | | X | | X | | X | X | X |
| 2B3 Adipic Acid Production | N2O | | X | | X | | X | X | X |
| 2B4 Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production | N2O | | X | | X | | | X | X |
| 2B8 Petrochemical and carbon black production | CO2 | X | | X | | | | X | X |
| 2B9 Fluorochemical production | HFC | | X | | X | | X | X | X |
| 2B9 Fluorochemical production | PFC | | X | | X | | | X | X |
| 2C1 Iron and Steel Production | CO2 | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 2C3 Aluminium Production | PFC | | X | | X | | X | X | X |
| 2C7 Metal Production / Other | SF6 | | | | | | | | |
| 2D3 Non-energy products from fuels and solvent use / Other | CO2 | | | | | | X | | X |
| 2F1 Refrigeration and Air Conditioning | HFC | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 2F4 Aerosols | HFC | | X | | X | | X | X | X |
| 3A Enteric Fermentation | CH4 | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 3B Manure Management | CH4 | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 3B Manure Management | N2O | X | | X | | X | X | X | X |
| 3D1 Direct N2O emissions from managed soils | N2O | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 3D2 Indirect N2O Emissions from managed soils | N2O | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 3H Urea application | CO2 | X | | X | X | | | X | X |
| 4A1 Forest Land remaining Forest Land | CO2 | | | X | X | X | X | | X |
| 4A2 Land converted to Forest Land | CO2 | | | X | X | X | X | | X |
| 4B1 Cropland remaining Cropland | CO2 | | | | | X | X | | X |
| 4B2 Land converted to Cropland | CO2 | | | X | X | X | X | | X |
| 4B2 Land converted to Cropland | N2O | | | | X | X | X | | X |
| 4C1 Grassland remaining Grassland | CO2 | | | | X | X | X | | X |
| 4C2 Land converted to Grassland | CO2 | | | X | X | X | X | | X |
| 4D2 Land converted to Wetlands | CO2 | | | | | | X | | X |
| 4E Settlements | CO2 | | | X | X | X | X | | X |
| 4G Harvested wood products | CO2 | | | | X | X | X | | X |
| 4H Other | CH4 | | | | | | X | | X |
| 5A Solid Waste Disposal | CH4 | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 5B Biological treatment of solid waste | CH4 | | X | | X | X | X | X | X |
| 5B Biological treatment of solid waste | N2O | | | | | | | | |
| 5C Incineration and open burning of waste | CO2 | X | | X | | | | X | X |
| 5D Wastewater treatment and discharge | CH4 | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 5D Wastewater treatment and discharge | N2O | X | X | X | X | X | X | X | X |

# 1.5 Plan et mise en œuvre du contrôle et assurance qualité

L'élaboration d'un inventaire d'émissions est une tâche complexe au regard :

- Du nombre important de données à manipuler,
- De la grande diversité quantitative et qualitative des sources d'information,
- Des méthodologies à mettre en œuvre pour quantifier au mieux chaque activité émettrice,
- De la nécessité de fournir des informations aussi pertinentes et exactes que possible tout en respectant les contraintes de ressources et de respect des échéances,
- De la garantie du respect de qualités fondamentales attachées aux inventaires (cohérence, exhaustivité, traçabilité, etc.).

Un dispositif de contrôle et d'assurance de la qualité est indispensable pour accomplir de manière satisfaisante cette tâche.

**Management de la qualité**

Le système national d'inventaire d'émissions est établi en intégrant les critères usuels applicables aux **Systèmes de Management de la Qualité** (SMQ). Le Citepa, qui a la charge de réaliser au plan technique les inventaires d'émission nationaux, a mis en place un tel système basé sur le référentiel **ISO 9001**. Cette disposition est confirmée par l'attribution d'un certificat délivré par l'AFAQ en 2004 et renouvelé en 2007, 2010, 2013, 2016, 2019 et 2022, ainsi que par les audits annuels de suivi. La réalisation des inventaires d'émission nationaux est couverte par le SMQ au travers de plusieurs processus spécifiques (voir Manuel Qualité – document interne non public).

Dans ce cadre, plusieurs processus relatifs au contrôle et à l'assurance de la qualité des inventaires sont intégrés dans les différents processus et procédures mis en œuvre, correspondant aux différentes phases et actions relatives aux points suivants :

- Fonctions générales de revue, de management des ressources, de planification, de veille et de participations à des travaux externes en rapport avec les inventaires d'émission.
- Choix, mise en œuvre et développement des méthodologies ainsi que la sélection des sources d'information et la collecte des données. Les processus de choix des méthodes sont clairement établis notamment vis-à-vis des cadres référentiels et des caractéristiques de pertinence et de pérennité attendues des sources de données. Ces choix sont généralement effectués en concertation avec les acteurs et experts des domaines concernés. Les modifications méthodologiques sont soumises à l'appréciation du Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émissions (GCIIE).
- Développement des procédures de calcul notamment des modèles de calcul des émissions, des bases de données, du reporting.
- Recherche d'un niveau élevé de traçabilité et de transparence.
- Mise en œuvre et enregistrement de contrôles relatifs aux étapes importantes et à risques de la réalisation de l'inventaire, à travers de multiples contrôles internes, tant sur les données d'entrée que sur les calculs, les bases de données, les rapports, l'archivage des données, le suivi des modifications (corrections d'erreurs ou améliorations) et les non-conformités. Plusieurs outils destinés à accompagner ces contrôles ont été développés.
- Validation et approbation des résultats des inventaires, suite à l'avis formulé par le Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émission (GCIIE).
- Validation et approbation des rapports et autres supports d'information par le Ministère chargé de l'environnement.
- Archivage systématique des éléments nécessaires pour assurer la traçabilité requise.
- Diffusion des informations et produits correspondants.
- Compatibilité avec les exigences communautaires en matière de communication des données et des caractéristiques des inventaires d'émission nécessaires à la Commission Européenne. En particulier, afin de lui permettre de préparer les inventaires de l'Union Européenne sur la base des inventaires des Etats membres et contribuer notamment à l'atteinte des exigences relatives à la qualité que la Commission met en œuvre à son niveau (i.e., en ce qui concerne les gaz à effet de serre dont la surveillance est soumise à des dispositions réglementaires particulières).
- Amélioration permanente de la qualité des estimations en développant les procédures pour éviter d'éventuelles erreurs systématiques, réduire les incertitudes associées, couvrir plus complètement les substances et les sources émettrices, etc. visant à satisfaire les objectifs relatifs à la qualité. Un plan d'action est défini et mis régulièrement à jour. Il intègre les améliorations requises et possibles en tenant compte des recommandations du GCIIE.

- Evaluation de la mise en œuvre des dispositions relatives au contrôle et à l'assurance de la qualité, en particulier les objectifs et le plan qualité.

**Objectifs qualité**

L'objectif global du programme d'assurance et de contrôle de la qualité porte sur la réalisation des inventaires nationaux d'émissions et de puits, conformément aux exigences formulées dans les différents cadres nationaux et internationaux couverts par le SNIEBA. Ces exigences portent sur la définition, la mise en œuvre et l'application de procédures et de méthodes visant à satisfaire les critères de traçabilité, d'exhaustivité, de cohérence, de comparabilité et de ponctualité requis notamment par les instances internationales et européennes en application des engagements souscrits par la France.

**Contrôle de la qualité**

Le contrôle de la qualité est intégré dans les différentes phases des processus et procédures développées par les organismes impliqués dans le système national pour ce qui concerne les éléments dont ils ont la charge afin d'atteindre les objectifs définis.

Le Citepa, organisme responsable de la coordination technique et de la compilation des inventaires est chargé du suivi du contrôle qualité et formule des recommandations visant à améliorer, compléter, développer les processus et procédures nécessaires.

Ces procédures peuvent être automatiques ou manuelles, revêtir la forme de check-list, de tests de plausibilité, de cohérence et d'exhaustivité, d'analyses de tendances, de simulations, etc. Elles interviennent à plusieurs étapes de la réalisation de l'inventaire. Plus particulièrement certaines sont précisées ci-après :

Il est principalement réalisé au travers de fiches de calcul dédiées chacune à une catégorie de sources émettrices (le SNIEBA en compte plus d'une centaine).

Ainsi chaque fiche de calcul sectorielle contient ses propres contrôles internes. Il s'agit notamment de tests internes visant à s'assurer des calculs (par exemple vérification de sous-totaux, affichage des tendances au niveau le plus fin des activités) et de la cohérence entre les valeurs calculées et les valeurs exportées vers le système de bases de données nationales. De même la documentation des sources et des hypothèses fait l'objet d'un soin particulier pour assurer la traçabilité.

Avant d'être exportée vers ces bases de données, plusieurs étapes de contrôles complémentaires sont réalisées. Chaque fiche de calcul sectorielle est soumise par son auteur à un contrôle au moyen d'un outil spécialement développé à cette fin par le Citepa, appelé VESUVE[10]. Cet outil permet de vérifier non seulement la cohérence entre les facteurs d'émission, les activités et les émissions, mais assure l'affichage graphique des tendances des activités, des facteurs d'émissions et des émissions de tous les polluants pour l'édition précédente et celle en cours de l'inventaire. Les évolutions observées entre les deux éditions sont systématiquement analysées et commentées par l'auteur de la fiche de calcul.

Chaque fiche de calcul sectorielle est ensuite soumise, au minimum, à la vérification par une tierce personne et par une seconde hiérarchiquement plus haut placée dans le cas de modifications méthodologiques. Le contrôle effectué porte entre autres points sur la cohérence et la transparence de la méthode, le référencement des données utilisées, le traitement des éventuelles non-conformités ou améliorations programmées (cf. application RISQ au paragraphe 4 ci-après) et l'enregistrement des vérifications effectuées avec VESUVE.

La représentativité des informations (définition, domaine, pertinence, exactitude, etc.), la pertinence et la conformité des méthodes, l'adéquation des outils de traitement et des formats de communication sont notamment concernées.

Une étape supplémentaire de contrôle vient s'ajouter lors de la compilation des éléments descriptifs méthodologiques au cours de laquelle un nouveau passage en revue des évolutions des méthodes et des facteurs d'émission est opéré (justification des évolutions, explicitation des méthodes, référencement des sources, etc.). Par ailleurs, la compilation finale du rapport d'inventaire permet un contrôle d'ensemble sur les résultats.

Etant donné la quantité considérable de données collectées et traitées dans les différents domaines concernés, il convient d'examiner la documentation correspondante de chacun des organismes impliqués. En particulier, il y a lieu de noter les procédures relatives aux processus de gestion de la qualité mises en place par le Citepa à cet effet (le Citepa a reçu la certification ISO 9001) pour la réalisation des inventaires d'émissions.

[10] VESUVE : VErification et SUivi des fiches de l'inVEntaire

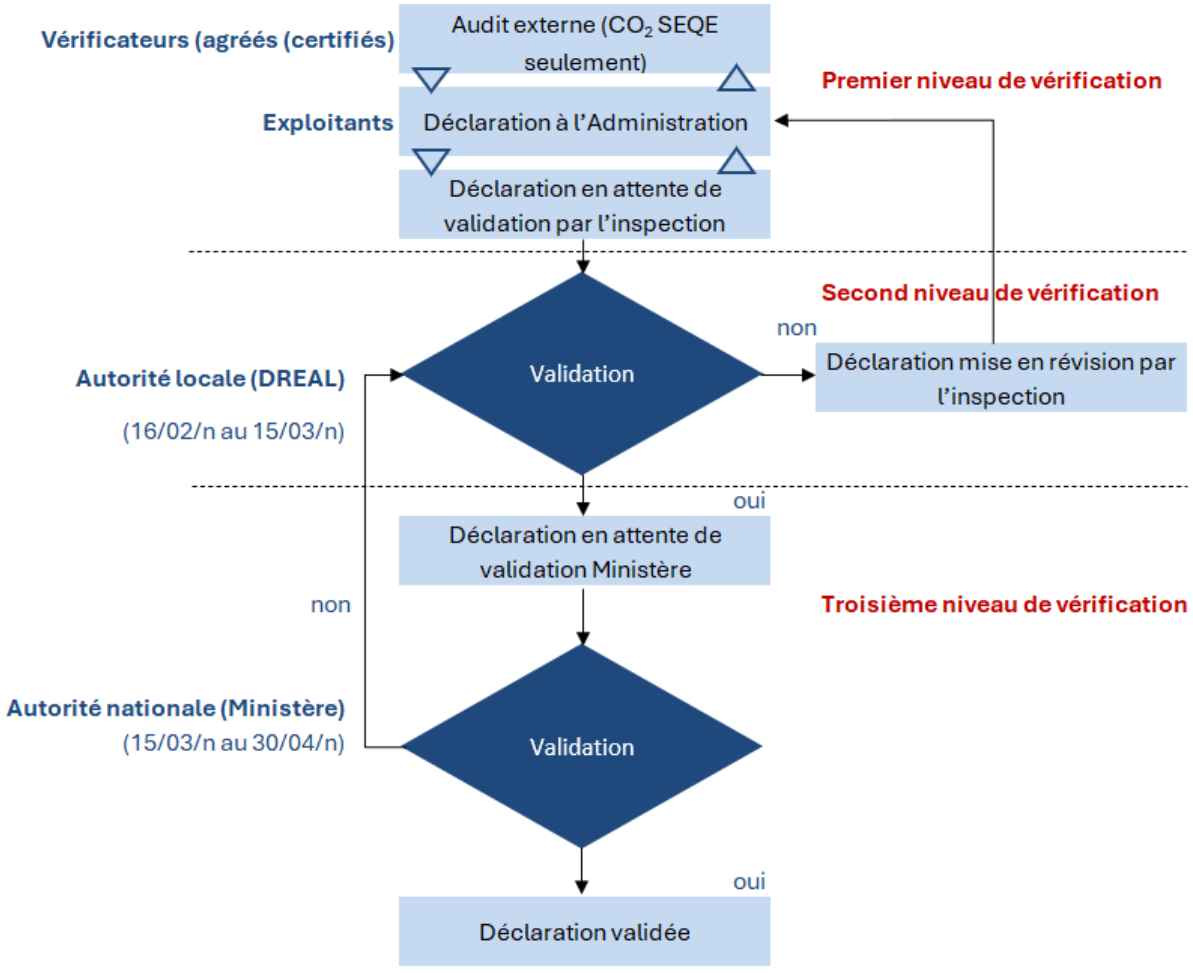
En ce qui concerne la compilation des inventaires, la quasi-totalité des dispositions générales (de rang 1) décrites dans les Bonnes Pratiques du GIEC sont appliquées. Les dispositions spécifiques à certaines catégories de sources (de rang 2) sont mises en œuvre au cas par cas principalement dans les secteurs « industrie », « transports » et « agriculture » et, dans une moindre mesure, dans les autres secteurs. En particulier, l'accès et l'utilisation de données relatives à des sources individuelles ou des sous-ensembles très fins de sources débouchent sur l'application de procédures spécifiques. Le SMQ s'attache particulièrement :

Le tableau présenté au paragraphe ci-après fournit la liste des vérifications effectuées en référence aux Bonnes Pratiques du GIEC. Bien d'autres dispositions s'y ajoutent.

**Assurance de la qualité**

Elle est assurée au travers de plusieurs dispositions visant à soumettre les inventaires à des revues et recueillir les commentaires et évaluations de publics disposant généralement d'une expertise appropriée. Plus particulièrement, les actions suivantes dont certaines sont intégrées dans le système d'inventaire et par suite dans le SMQ, sont effectives (voir également la figure ci-après) :

**Figure 5 : Dispositions mises en œuvre pour l'assurance qualité**



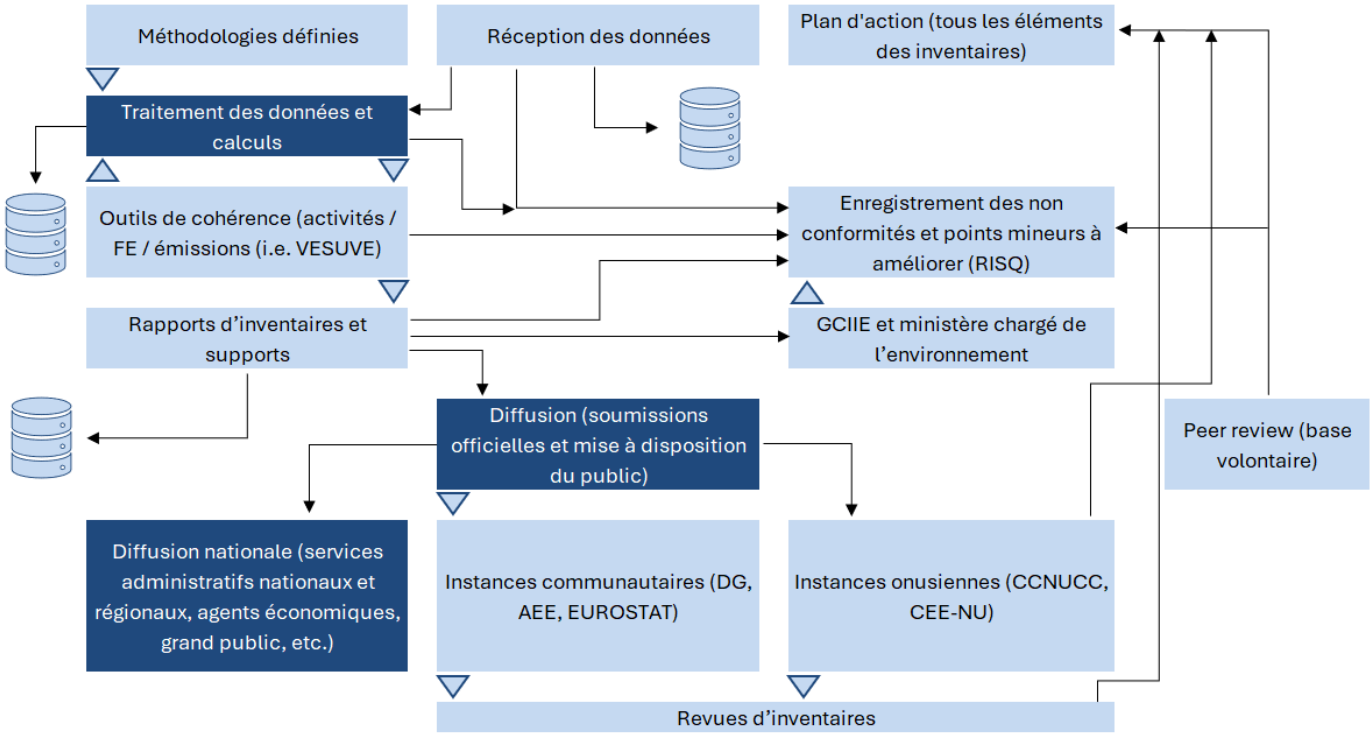

Les informations recueillies alimentent un outil dédié à l'enregistrement et au suivi de correction des non-conformités identifiées et des améliorations prévues, appelé RISQ[11]. Cet outil est systématiquement consulté par tous les auteurs de

[11] RISQ : Réseau Intégré du Système Qualité

fiches de calcul et de rapports lors de leur mise à jour et la réalisation des actions prévues est consignée et contrôlée par leur vérificateur.

Ces informations contribuent à améliorer les éditions suivantes des inventaires selon l'impact de la modification vis-à-vis, d'une part, de l'écart engendré dans les estimations et, d'autre part, des ressources et du temps nécessaire pour disposer des données et/ou mettre en œuvre des méthodes alternatives.

**Figure 6 : Schéma du contrôle et de l'assurance qualité de l'inventaire français**




**Exemples de dispositions pratiques**

Le tableau ci-après présente les relations entre les activités de contrôle qualité identifiées dans les bonnes pratiques du GIEC et les divers éléments du SMQ (processus, procédures, etc.).

**Tableau 9 : Relation entre les bonnes pratiques du GIEC et les éléments du SMQ**

# 1.6 Évaluation des incertitudes

L'évaluation des incertitudes associées à la détermination des émissions est nécessaire pour permettre une utilisation pertinente des informations correspondantes dans les différents cadres pour lesquels des inventaires d'émission sont réalisés.

En tout état de cause, il convient de garder à l'esprit que la connaissance des flux de gaz à effet de serre dans l'atmosphère reste liée à la connaissance et aux tentatives de représentation très imparfaites des phénomènes physiques, chimiques, biologiques, etc., intervenant dans la formation des substances. Cette incertitude varie dans un domaine très large selon la source et la substance considérées.

Cette tâche d'évaluation des incertitudes est particulièrement complexe car, dans un grand nombre de cas, les données d'incertitudes de base, lorsqu'elles existent, sont constituées par des informations plus ou moins subjectives telles qu'un avis d'expert, des données non structurées pour les applications pressenties, introduisant de facto des biais, etc.

Force est de constater également que les données statistiques telles que celles fournies dans les bilans énergétiques ou les productions publiées par les organismes statistiques officiels ne comportent généralement aucune information sur l'incertitude liée à ces données.

Les exigences en matière d'évaluation d'incertitudes des émissions sont de plus en plus fortes au fur et à mesure que les engagements de réduction ou de limitation des émissions sont pris par les États dans le cadre de Conventions internationales. La problématique de la pollution de l'air et l'utilisation de données dans des modèles visant à déterminer l'impact des émissions dans l'environnement requiert également de disposer de données dont la précision peut être approchée.

Le GIEC a développé dans son guide des bonnes pratiques deux niveaux de méthodes pour évaluer les incertitudes sur les émissions totales des inventaires d'émissions :

- La méthode de rang 1, qui consiste à déterminer des intervalles de confiance sur chacun des paramètres (activité et facteur d'émission) à partir des données disponibles. Dans l'état actuel des connaissances, ces intervalles de confiance sont le plus souvent des avis d'experts. Un des points importants de cette méthode est l'identification d'éventuels biais (conscients ou inconscients) dans les avis d'experts. A cette fin, le guide du GIEC explicite différents types de biais connus. Les incertitudes sur les activités et/ou les facteurs d'émission peuvent également provenir de la littérature.
- La méthode de rang 2, qui vise à utiliser systématiquement des fonctions de densité de probabilité par la méthode de simulation stochastique comme la méthode de Monte Carlo. La mise en œuvre d'une telle méthode demande un investissement important et s'appuie également en pratique sur des avis d'experts.

L'évaluation des incertitudes totales sur les inventaires d'émission nationaux est mise en œuvre en combinant les deux méthodes de rang 1 et 2 du GIEC de propagation des incertitudes.

En effet, certains secteurs font l'objet d'une mise en œuvre de l'approche Monte-Carlo pour l'inventaire de gaz à effet de serre, en particulier l'agriculture, pour le $N_2O$ des sols agricoles et le $CH_4$ des rizières, l'UTCATF pour le $CO_2$ et pour les GES du transport routier. Les résultats de ces évaluations Monte-Carlo sont ensuite injectés dans la détermination des incertitudes tous secteurs, réalisée selon la méthode de rang 1 du GIEC. Le rapport national d'inventaire fait état des résultats tant en ce qui concerne les incertitudes en niveau qu'en tendance.

Certaines activités sont concernées vis-à-vis de plusieurs gaz à effet de serre. Par ailleurs, compte tenu des consolidations effectuées par bouclage sur des bilans énergétiques par exemple, l'incertitude relative à une source ou une catégorie de source peut être intrinsèquement plus grande que l'incertitude globale. La méthode de calcul des incertitudes globales utilisée pour les émissions de gaz à effet de serre est celle préconisée par le GIEC.

Les travaux effectués pour les gaz à effet de serre sont en partie utilisables pour les autres substances inventoriées pour ce qui concerne le paramètre « activité » souvent commun à diverses substances émises par un même type de source.

Tous les développements réalisés dans le cadre du système national d'inventaire s'efforcent d'intégrer systématiquement la quantification des incertitudes.

L'incertitude est relativement faible, c'est à dire inférieure ou de l'ordre de 5 %, pour les gaz/sources pour lesquels il est possible de recouper les calculs par des bilans matières. Pour le $CO_2$, l'incertitude est notablement plus élevée en ce qui concerne par exemple les puits de carbone. A noter que les données résultant des dispositions relatives à la mise en place du système d'échanges des quotas de gaz à effet de serre contribuent à une réduction des incertitudes par suite des niveaux d'exigence élevés instaurés dans ce cadre.

Pour les polluants dont les émissions sont largement dépendantes des conditions opératoires (e.g. $NO_x$, CO, COVNM, etc.), les incertitudes sont généralement élevées. Les niveaux d'incertitude sont très variables d'une source à l'autre pour une même substance. Il est évident qu'une source dont les rejets sont mesurés de façon permanente ou à intervalles réguliers permettra une évaluation plus précise. Il en est de même lorsque des bilans matières peuvent être mis en œuvre.

Ainsi, pour la plupart des substances relatives à la pollution transfrontalière ($NO_x$, COVNM, $NH_3$, etc.), la quantification de l'incertitude est plus difficile que dans le cas des émissions de $CO_2$, comme expliqué plus haut. Toutefois, une quantification systématique des incertitudes sur les émissions de ces substances est également effectuée avec la méthode de rang 1 du GIEC (cf. rapport d'inventaire CEE-NU).

Concernant les gaz à effet de serre, une quantification est fournie dans les inventaires d'émissions pour la CCNUCC. Il faut noter que l'incertitude totale en niveau d'émission est plus forte que l'incertitude sur l'évolution des émissions dans le temps. Cela est dû aux relations qui existent entre les inventaires des différentes années : même méthodologie pour les différentes années, mêmes erreurs systématiques possibles ou approximations entre les années, etc.

Ainsi, le premier tableau de l'annexe 2 présente la détermination des incertitudes pour l'inventaire d'émissions des sept gaz à effet de serre direct en 2023 et son évolution par rapport à 1990. Il ressort que **l'estimation de l'incertitude sur les émissions** totales exprimées en $CO_2$ équivalent **hors UTCATF pour l'année 2023 est de +/- 6,6 % en niveau d'émission** (i.e. les émissions totales des sept gaz à effet de serre direct en 2023 sont de 376 +/- 25 Mt $CO_2$e hors UTCATF). Pour les émissions totales UTCATF inclus, l'incertitude sur l'année 2023 est de +/- 8,0 % en niveau d'émission pour des émissions totales de 339 Mt $CO_2$e.

Comme le montre le tableau de l'annexe 2, **le $CH_4$ des décharges (5A) affiche une incertitude représentant 5,4 %** des émissions totales hors UTCATF. Les autres secteurs dont l'incertitude sur les émissions représente un poids important par rapport aux émissions totales hors UTCATF sont : le $N_2O$ indirect des sols gérés (3D2, 2,2 % des émissions totales), le $CH_4$ de la fermentation entérique (3A, 1,5 % des émissions totales), le $N_2O$ direct des sols de l'agriculture (3D1, 1,5 % des émissions totales), le $N_2O$ de la gestion des effluents (3B, 1,1% des émissions totales) et le N2O du traitement et décharge des eaux usées (5D, 0,7% des émissions totales). C'est notamment sur ces secteurs qu'il convient de faire porter des efforts en termes d'amélioration des connaissances.

Le deuxième tableau de l'annexe 2 présente l'application de la méthode "Tier 1" du calcul d'incertitude pour l'inventaire d'émissions des sept gaz à effet de serre direct pour l'année de référence de l'inventaire. Ainsi, en 1990, **l'estimation de l'incertitude sur les émissions** totales exprimées en $CO_2$ équivalent **hors UTCATF est de +/- 5,1 % en niveau d'émission** (i.e. les émissions totales hors UTCATF des sept gaz à effet de serre direct en 1990 sont de 547 +/- 28 Mt $CO_2$e). Pour les émissions totales UTCATF inclus, l'incertitude sur l'année 1990 est de +/- 6,2 % en niveau d'émission pour des émissions totales de 524 Mt $CO_2$e. Comme pour 2023, **le $CH_4$ des décharges (5A) affiche l'incertitude la plus importante, représentant 4,2 %** des émissions totales en 1990 (hors UTCATF). Les autres secteurs dont l'incertitude sur les émissions représente un poids important par rapport aux émissions totales hors UTCATF sont, comme en 2023, le $N_2O$ indirect des sols de l'agriculture (3D2, 1,9 % des émissions totales), le $CH_4$ de la fermentation entérique (3A, 1,4 % des émissions totales) et le $N_2O$ direct des sols de l'agriculture (3D1, 1,3% des émissions totales).

La méthode "Tier 1" permet également d'estimer l'incertitude sur l'évolution des émissions entre deux années. Fort logiquement, cette incertitude sur l'évolution est plus faible que celle portant sur le niveau d'émissions d'une année donnée. Cela s'explique par les fortes corrélations entre deux années dans l'élaboration des inventaires : mêmes méthodes d'estimations d'une année sur l'autre, mêmes erreurs systématiques ou approximations au cours de la période, etc. Ainsi, l'application de la méthode "Tier 1" donne **une incertitude sur l'évolution des émissions de $CO_2$e hors UTCATF entre l'année de référence 1990 et 2023 de +/- 1,5 %** des émissions totales 1990 hors UTCATF, pour une évolution des émissions de -31 %. Pour les émissions avec UTCATF, l'évolution des émissions totales exprimées en $CO_2$ équivalent en 2023 est de -35 % comparativement aux émissions de 1990, et l'incertitude sur la différence entre 2023 et 1990 est de +/- 1,8 % des émissions de 1990.

# 1.7 Exhaustivité des inventaires

**Couverture temporelle :**

Les inventaires rapportés dans le cadre de la CCNUCC dans le présent rapport couvrent la période 1990-2023 avec un pas annuel. L'année de référence est 1990 pour toutes les substances.

**Couverture géographique** (cf. figure 7) :

Le champ géographique couvert par la CCNUCC est l'ensemble constitué par les 13 régions de la Métropole et tous les territoires français situés Outre-mer. Ces derniers se classent en :

- Territoires d'Outre-mer non-inclus dans l'Union Européenne (Polynésie Française, Wallis-et-Futuna, Mayotte jusqu'en 2014, Nouvelle-Calédonie, Saint-Pierre-et-Miquelon, Saint-Barthélemy, et les Terres Australes et Antarctiques Françaises),
- Territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE comprenant la Guadeloupe, la Martinique, la Guyane, La Réunion, Mayotte depuis 2014 et Saint-Martin.

Périmètre UE de la France : par rapport à la Convention, ce périmètre pris en compte pour les engagements de la France dans le cadre de sa contribution aux engagements de l'UE est constitué que du territoire français couvert par l'UE, c'est-à-dire qu'il exclut les territoires d'Outre-mer non inclus dans l'UE. Les tableaux ci-dessous illustrent le statut et les caractéristiques socio-économiques des différentes entités composant la France. Depuis la soumission 2023 relative à l'année 2021 ce périmètre est renommé « France UE » (il était nommé périmètre France Kyoto précédemment).

**Tableau 10 : Couverture géographique de la France au regard des divers inventaires d'émissions**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — Statuts.xlsx

| | Catégorie | | Inventaires | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Statut "français" | Périmètre inclus / non inclus dans l'UE | CEE-NU | NEC | CCNUCC | CCNUCC UE | GIC | SEQE |
| 96 départements sur le continent européen | Départements métropolitains | inclus | | | | | | |
| Guadeloupe<br>Guyane<br>Martinique<br>Réunion | Départements d'Outre-mer | inclus | | | | | | |
| Mayotte[(a)] | Département d'Outre-mer (depuis 2011) | inclus depuis janvier 2014 | | | | | | |
| Saint Martin | Collectivités d'Outre-mer (depuis mi-2007) | inclus | | | | | | |
| Saint Barthélémy | | non inclus (PTOM)[(c)] depuis janvier 2012 | | | | | | |
| Saint-Pierre et Miquelon<br>Wallis et Futuna<br>Polynésie française | Collectivités d'Outre-mer | non inclus (PTOM)[(c)] | | | | | | |
| Nouvelle Calédonie | Collectivité *sui generis* | non inclus (PTOM)[(c)] | | | | | | |
| Terres australes et antarctiques françaises (TAAF) et Ile de Clipperton[(b)] | TAAF et Ile de Clipperton | non inclus (PTOM)[(c)] | | | | | | |

(a) Le territoire de Mayotte est devenu un département d'Outre-mer le 31 mars 2011, toutefois il n'est pas inclus automatiquement dans l'UE par son changement de statut (il reste un PTOM[(c)] avant janvier 2014, date à laquelle il est intégré à l'UE)

(b) Clipperton n'est pas cité dans l'annexe du Traité, ce n'est donc pas un PTOM officiellement et n'appartient pas à l'UE (cas similaire à celui des îles anglo-normandes pour le Royaume-Uni)

(c) La France comme d'autres Etats-membres comporte des territoires situés Outre-mer qui n'appartiennent pas à l'Union européenne ; ils ont généralement des liens d'association particuliers avec l'UE. Ces territoires sont désignés par le terme « Pays et Territoires d'Outre-mer » (PTOM) et figurent nommément dans l'annexe II de la Partie IV du Traité établissant une constitution pour l'Europe.

inclus dans l'inventaire

N.B. : afin de suivre les lignes directrices et bonnes pratiques du GIEC en matière de cohérence des séries temporelles, le même périmètre géographique « France UE » (le dernier en date) est appliqué depuis 1990 (avec Mayotte sur toute la série temporelle).

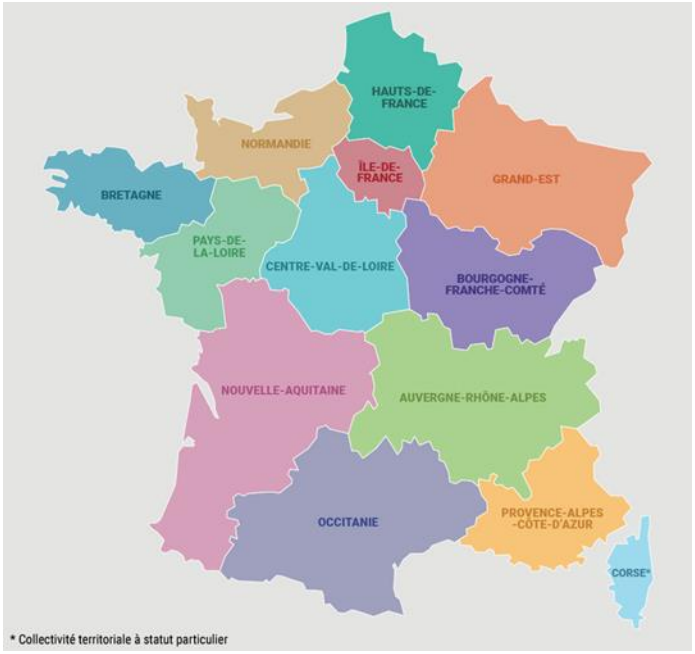
**Tableau 11 : Paramètres socio-économiques de la France**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — UNFCCC-Para-socio.xlsx

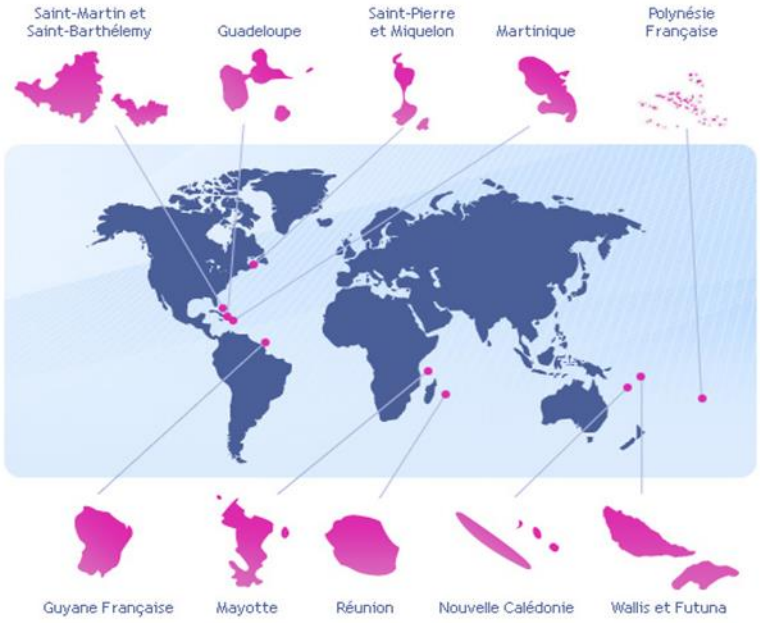
| | | Superficie | Population (milliers) | | | PIB (millions € courants) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ($km^2$) | 1990 | 2023 | Evolution (%) 2023/1990 | 1990 | 2023 | Evolution (%) 2023/1990 |
| **METROPOLE** | | **548 473** | **56 709** | **66 034** | **16%** | **1 037 597** | **2 616 844** | **152%** |
| Territoires Outre-mer inclus dans l'UE | Guadeloupe | 1 688 | 352 | 380 | 8.1% | 1 962 | 10 398 | 430% |
| | Saint-Martin | 56 | 29 | 28 | -0.9% | 356 | 704 | 97% |
| | Martinique | 1 128 | 358 | 353 | -1.4% | 2 861 | 10 059 | 252% |
| | Guyane | 83 534 | 113 | 293 | 158% | 1 014 | 5 029 | 396% |
| | Réunion | 2 504 | 598 | 881 | 47% | 4 336 | 23 200 | 435% |
| | Mayotte | 375 | 89 | 310 | 249% | 64 | 3 403 | 5245% |
| | **TOTAL OM UE** | **89 285** | **1 539** | **2 246** | **46%** | **10 593** | **52 792** | **398%** |
| **PERIMETRE FRANCE UE** | | **637 758** | **58 248** | **68 280** | **17%** | **1 048 190** | **2 669 636** | **155%** |
| Territoires Outre-mer non inclus dans l'UE | Nouvelle Calédonie | 18 576 | 169 | 269 | 59% | 2 099 | 9 471 | 351% |
| | Polynésie Française | 3 520 | 194 | 279 | 44% | 2 639 | 5 916 | 124% |
| | Wallis et Futuna | 142 | 14 | 11 | -19% | 198 | 213 | 7.7% |
| | St-Pierre et Miquelon | 242 | 6 | 6 | -9.0% | 135 | 226 | 68% |
| | Saint-Barthélémy | 21 | 5 | 11 | 113% | 127 | 485 | 281% |
| | **TOTAL OM hors UE** | **22 501** | **388** | **575** | **48%** | **5 197** | **16 312** | **214%** |
| **TOTAL FRANCE** | | **660 259** | **58 636** | **68 856** | **17%** | **1 053 387** | **2 685 948** | **155%** |

Il en ressort que la Métropole représente 83,1 % de la superficie totale de la France, avec 95,9 % de la population et 97,6 % du PIB en 2023. Cependant, l'évolution relative à la hausse à la fois de la population et du PIB est plus forte en Outre-mer qu'en Métropole de 1990 à 2023.

**Figure 7 : Carte de la France (Métropole et Outre-mer)**




*France métropolitaine*




*Territoires d'Outre-mer*

**Substances inventoriées :**

Toutes les substances exigées par la CCNUCC sont estimées, à savoir :

- $CO_2$,
- $CH_4$,
- $N_2O$,
- HFC (HFC-23, HFC-32, HFC-4310mee, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-227ea, HFC-365mfc, HFC-245fa),
- PFC (PFC-14, PFC-116, $C_3F_8$, $C_4F_8$, $C_4F_{10}$, $C_5F_{12}$, $C_6F_{14}$, $C_{10}F_{18}$),
- $SF_6$,
- $NF_3$,
- Les gaz à effet de serre indirect ($SO_2$, CO, $NO_X$ et COVNM).

**Couverture des sources émettrices :**

Tous les puits et sources d'émission appartenant à la nomenclature du GIEC sont inventoriés. Toutefois, il est utile de rappeler que les conventions suivantes ont été retenues :

- l'autoproduction d'électricité est comptabilisée dans le secteur producteur comme par exemple l'industrie, le chauffage urbain, etc. (spécification GIEC),
- les émissions de COVNM par évaporation dans le cas des véhicules routiers figurent dans la rubrique "transports routiers" de la catégorie "combustion" (spécification CCNUCC),
- la définition du trafic maritime international prise en compte est identique à celle retenue par la Commission Économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-NU). De ce fait, la majeure partie des soutes relatives aux ventes françaises n'est pas comptabilisée dans le champ couvert par les émissions nationales. Cette partie correspond à environ 3,4 Mt $CO_2$e en 2023 et 6,8 Mt $CO_2$e en 1990 pour la France au périmètre France UE. La partie non comptabilisée dans le total national est rapportée hors total (spécification CCNUCC),
- le trafic aérien domestique, y compris les vols Métropole – Territoires d'Outre-mer, est inclus dans le total national, tandis que la part relative au trafic aérien international est rapportée séparément selon les spécifications CCNUCC (les quantités correspondantes passent de près de 9,4 Mt $CO_2$e en 1990 à 16,6 Mt $CO_2$e en 2023 pour la France au périmètre France UE),

- les forêts qui ne sont pas dans un état d'équilibre naturel ont été intégrées dans les émissions anthropiques,
- pour les incinérateurs avec récupération d'énergie, les émissions sont affectées à la production d'électricité et de chaleur.

**Particularités**

Selon les règles en vigueur, les émissions de $CO_2$ issues de la biomasse sont comptabilisées de la façon suivante :

- *Pour la biomasse dite à rotation annuelle* : il s'agit de la matière organique produite et détruite dans la même année (ex : carottes, etc.). Les émissions de $CO_2$ liées à la destruction thermique ou par dégradation aérobie de cette biomasse sont exclues ;
- *Pour la biomasse ligneuse (bois et dérivés)* : les émissions de $CO_2$ issues de cette biomasse sont comptabilisées dans la catégorie 4 du CRT relative à l'UTCATF, partie récolte forestière. L'utilisation en tant que combustible est rappelée pour mémoire dans la catégorie 1 du CRT relative à l'énergie mais exclue des totaux du secteur de l'énergie ;
- *Pour les déchets* : les émissions de $CO_2$ d'origine organique lors du traitement des déchets ne sont pas retenues : seule la part inorganique est conservée, et le $CO_2$ provenant de l'incinération des boues issues du traitement des eaux, de l'épandage des boues, des décharges, de la fabrication de compost et de la production de biogaz est exclu.

**Sources manquantes (non estimées)**

Conformément aux recommandations des Nations unies, à partir du moment où une source est définie dans les Lignes directrices du GIEC 2006 et qu'une méthodologie de calcul est fournie, alors la source d'émission doit être estimée. Dans le cas où une telle source ne peut être estimée, la notation « NE » est ajoutée et des investigations sont planifiées, dans la mesure du possible, dans le cadre de l'amélioration continue déployée au sein du SNIEBA. Quelques sources d'émissions sont clairement non estimées, elles apparaissent donc en « NE » dans les tables CRT. Il est à noter que les secteurs CRT dont les émissions ne sont pas estimées, car aucun facteur d'émission n'est proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006, sont également rapportés en « NE » (par exemple les émissions de $CH_4$ et de $N_2O$ issues de la crémation).

**Tableau 12 : Liste des sources couvertes par la notation « NE » en 2023**

| **Sources and sinks not estimated ("NE")** | | | |
|---|---|---|---|
| **GHG** | **Sector** [3] | **Source/sink category** [3] | **Explanation** |
| $CO_2$ | 2. Industrial Processes and Product Use | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Non-energy products from fuels and solvent use > Other > Asphalt roofing | Only COVNM, CO and particulate matter are estimated for asphalt roofing |
| $CO_2$ | 2. Industrial Processes and Product Use | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Non-energy products from fuels and solvent use > Other > Asphalt roofing | Only COVNM, CO and particulate matter are estimated for asphalt roofing |
| $CO_2$ | 2. Industrial Processes and Product Use | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Non-energy products from fuels and solvent use > Other > Asphalt roofing | Only COVNM, CO and particulate matter are estimated for asphalt roofing |
| $CO_2$ | 5. Waste | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Sewage sludge | Sewage Sludge are considered as 100% biomass : No CO2 EF available |
| $CO_2$ | 5. Waste | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Other (please specify) > Cremation | Biogenic CO2 emissions are not estimated for waste incineration |
| $CH_4$ | 3. Agriculture | Sectors/Totals > Agriculture > Enteric fermentation > Other livestock > Poultry | Emissions due to enteric fermentation from poultry are very low. IPCC guidelines do not provide any emission factor for this category of livestock. |
| $CH_4$ | 5. Waste | Sectors/Totals > Waste > Biological treatment of solid waste > Anaerobic digestion at biogas facilities > Municipal solid waste | Amount of CH4 flared and Amount of CH4 for energy recovery are not necessary for the calculation |
| $CH_4$ | 1. Energy | Sectors/Totals > Energy > Memo items > Multilateral operations | This category (memo item) only includes Ariane rockets sent from French Guiana. Only CO2 emissions are estimated for this activity. |

| Sources and sinks not estimated ("NE") | | | |
|---|---|---|---|
| **GHG** | **Sector** [3] | **Source/sink category** [3] | **Explanation** |
| $CH_4$ | 3. Agriculture | Sectors/Totals > Agriculture > Enteric fermentation > Other livestock > Other > Rabbit | Emissions due to enteric fermentation from rabbits are very low. IPCC guidelines do not provide any emission factor for this category of livestock. |
| $CH_4$ | 5. Waste | Sectors/Totals > Waste > Biological treatment of solid waste > Anaerobic digestion at biogas facilities > Municipal solid waste | Amount of CH4 flared and Amount of CH4 for energy recovery are not necessary for the calculation |
| $CH_4$ | 2. Industrial Processes and Product Use | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Non-energy products from fuels and solvent use > Other > Asphalt roofing | Only COVNM, CO and particulate matter are estimated for asphalt roofing |
| $CH_4$ | 2. Industrial Processes and Product Use | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Non-energy products from fuels and solvent use > Other > Asphalt roofing | Only COVNM, CO and particulate matter are estimated for asphalt roofing |
| $CH_4$ | 5. Waste | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Other (please specify) > Cremation | This emission is not estimated due to the lack of emission factor in the IPCC. |
| $N_2O$ | 4. Land Use, Land-Use Change and Forestry | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry | |
| $N_2O$ | 5. Waste | Sectors/Totals > Waste | |
| $N_2O$ | 2. Industrial Processes and Product Use | Sectors/Totals > Industrial processes and product use | |
| $N_2O$ | 2. Industrial Processes and Product Use | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Non-energy products from fuels and solvent use > Other > Asphalt roofing | Only COVNM, CO and particulate matter are estimated for asphalt roofing |
| $N_2O$ | 1. Energy | Sectors/Totals > Energy > Fugitive emissions from fuels > Solid fuels > Fuel transformation | According to Emep, in general, emissions of nitrous oxide (N2O) are not relevant for this source. |
| $N_2O$ | 2. Industrial Processes and Product Use | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Non-energy products from fuels and solvent use > Other > Asphalt roofing | Only COVNM, CO and particulate matter are estimated for asphalt roofing |
| $N_2O$ | 1. Energy | Sectors/Totals > Energy > Memo items > Multilateral operations | This category (memo item) only includes Ariane rockets sent from French Guiana. Only CO2 emissions are estimated for this activity. |
| $N_2O$ | 5. Waste | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Other (please specify) > Cremation | This emission is not estimated due to the lack of emission factor in the IPCC. |

**Sources comptabilisées ailleurs**

Des secteurs peuvent être comptabilisés avec d'autres secteurs pour diverses raisons telles que le respect de la confidentialité d'une donnée par exemple. Le tableau suivant liste les différents secteurs alloués dans un autre secteur de l'inventaire.

**Tableau 13 : Liste des sources couvertes par la notation « IE » en 2023**

| Sources and sinks reported elsewhere ("IE") | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **GHG** | **Source/sink category** | **Allocation as per IPCC Guidelines** | **Allocation used by the Party** | **Explanation** |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Gaseous fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Hazardous waste | 5.C.1.a.ii.2 | 5.C.1.b.ii.2 | Hazardous Waste are considered as 100% fossil |

| Sources and sinks reported elsewhere ("IE") | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **GHG** | **Source/sink category** | **Allocation as per IPCC Guidelines** | **Allocation used by the Party** | **Explanation** |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Metal industry > Iron and steel production > Pig iron | 2.C.1.b | 2.C.1.a | The bottom-up approach implemented does not allow separate reporting between subcategories. All the emissions are attributed to 2.C.1.a. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Biomass | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Metal industry > Iron and steel production > Sinter | 2.C.1.d | 2.C.1.a | The bottom-up approach implemented does not allow separate reporting between subcategories. All the emissions are attributed to 2.C.1.a. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Metal industry > Magnesium production | 2.C.4 | 2.C.7 | The emissions of carbon dioxide (CO2) from Magnesium production are included elsewhere (2C7 instead of 2C4) from 1990 to 2001 and are not occurring in fact since 2002. Emissions are aggregated to respect confidentiality. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Other > Food and beverages industry | 2.H.2 | 2.A.2 | CO2 emissions from lime production in sugar mills are reported in the 2.A.2 CRT code |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Wetlands > Drainage & rewetting and other management of soils ($CO_2$, $N_2O$, $CH_4$) > Wetlands remaining wetlands > Flooded land remaining flooded land > Total mineral soils > Rewetted mineral soils | 4(II) | 4.H | Emissions from the reservoir of Petit-Saut are included in 4.H |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Chemical industry > Petrochemical and carbon black production > Ethylene dichloride and vinyl chloride monomer | 2.B.8.c | 2.B.8.g.ii | There are two types of process for manufacturing vinyl chloride:<br>- Addition of HCl to acetylene (2.B.8.g.ii)<br>- Co-process for the manufacture of 1,2-dichloroethane + vinyl monochloride (2.b.8.c)<br>Both process emissions are estimated and reported in 2.B.8.g.ii as they are not determined independently. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fugitive emissions from fuels > Oil and natural gas and other emissions from energy production > Natural gas > Production and gathering | 1.B.2.b.ii production | 1.B.2.b.iii processing | Production and processing cannot be split and are entirely reported under processing |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Cropland > Carbon stock change > Cropland remaining cropland > All [IPCC Software] | 4.B.1 | 4(II).B.1 | CO2 and CH4 emissions are reported under table 4(II) |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, |

| Sources and sinks reported elsewhere ("IE") | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **GHG** | **Source/sink category** | **Allocation as per IPCC Guidelines** | **Allocation used by the Party** | **Explanation** |
| | | | | power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Other fossil fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fugitive emissions from fuels > Oil and natural gas and other emissions from energy production > Venting and flaring > Venting > Gas | 1.B.2.c.i.2 | 1.B.2.c.ii.2 | Venting emissions are not separately reported by the plant, included within Flaring emission reporting. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Cropland > Biomass burning ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$) > Land converted to cropland > Controlled burning > All [IPCC Software] | 4(IV).B.2.a | 4.B.2 | CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Metal industry > Iron and steel production > Sinter | 2.C.1.d | 2.C.1.a | The bottom-up approach implemented does not allow separate reporting between subcategories. All the emissions are attributed to 2.C.1.a. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Gaseous fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fugitive emissions from fuels > Oil and natural gas and other emissions from energy production > Natural gas > Production and gathering | 1.B.2.b.ii production | 1.B.2.b.iii processing | Production and processing cannot be split and are entirely reported under processing |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Feedstocks, reductants and other non-energy use of fuels > Solid fuels > Primary fuels > Other bituminous coal | Other bituminous coal | Anthracite | The bottom-up approach implemented does not allow separate reporting between subcategories. All the emissions are attributed to anthracite |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Industrial solid wastes | 5.C.1.a.ii.1 | 5.C.1.a.i | Non dangerous industrial solid waste are reported with municipal solid waste |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Liquid fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fugitive emissions from fuels > Oil and | 1.B.2.c.i.2 | 1.B.2.c.ii.2 | Venting emissions are not separately reported by the plant, included within Flaring emission reporting. |

| Sources and sinks reported elsewhere ("IE") | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **GHG** | **Source/sink category** | **Allocation as per IPCC Guidelines** | **Allocation used by the Party** | **Explanation** |
| | natural gas and other emissions from energy production > Venting and flaring > Venting > Gas | | | |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Feedstocks, reductants and other non-energy use of fuels > Solid fuels > Secondary fuels > Coke oven/gas coke | Coke oven/gas coke | Anthracite | The bottom-up approach implemented does not allow separate reporting between subcategories. All the emissions are attributed to anthracite |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Railways > Solid fuels | 1.A.3.c | 1.A.4.a | Emissions from solid fuels from Railways are included in 1.A.4.A |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Non-biogenic > Other > Industrial solid wastes | 5.C.1.b.ii.1 | 5.C.1.b.i | Non dangerous industrial solid waste are reported with municipal solid waste |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Liquid fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Metal industry > Iron and steel production > Sinter | 2.C.1.d | 2.C.1.a | The bottom-up approach implemented does not allow separate reporting between subcategories. All the emissions are attributed to 2.C.1.a. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Solid fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Metal industry > Iron and steel production > Pig iron | 2.C.1.b | 2.C.1.a | The bottom-up approach implemented does not allow separate reporting between subcategories. All the emissions are attributed to 2.C.1.a. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Peat | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Waste | Table 6 | Tables 5 | Emissions from combustion are based on total carbon content. Thus, indirect CO2 emissions are already included in total direct CO2 emissions reported by sector |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Chemical industry > Petrochemical and carbon black production > Ethylene dichloride and vinyl chloride monomer | 2.B.8.c | 2.B.8.g.ii | There are two types of process for manufacturing vinyl chloride:<br>- Addition of HCl to acetylene (2.B.8.g.ii)<br>- Co-process for the manufacture of 1,2-dichloroethane + vinyl monochloride (2.b.8.c)<br>Both process emissions are estimated and reported in 2.B.8.g.ii as they are not determined independently. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Grassland > Biomass burning ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$) > Land converted | 4(IV).C.2.a | 4.C.2 | CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change |

| Sources and sinks reported elsewhere ("IE") | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **GHG** | **Source/sink category** | **Allocation as per IPCC Guidelines** | **Allocation used by the Party** | **Explanation** |
| | to grassland > Controlled burning > All [IPCC Software] | | | |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Metal industry > Iron and steel production > Pig iron | 2.C.1.b | 2.C.1.a | The bottom-up approach implemented does not allow separate reporting between subcategories. All the emissions are attributed to 2.C.1.a. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Wetlands > Biomass burning ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$) > Land converted to wetlands > Controlled burning > All [IPCC Software] | 4(IV).D.2.a | 4.D.2 | CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Biomass | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Metal industry > Magnesium production | 2.C.4 | 2.C.7 | The emissions of carbon dioxide (CO2) from Magnesium production are included elsewhere (2C7 instead of 2C4) from 1990 to 2001 and are not occurring in fact since 2002. Emissions are aggregated to respect confidentiality. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Wetlands > Drainage & rewetting and other management of soils ($CO_2$, $N_2O$, $CH_4$) > Wetlands remaining wetlands > Peat extraction remaining peat extraction > Total organic soils > Other (please specify) | 4(II) | 4.D | For now, CO2 emissions are reported under table 4.D |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Other fossil fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Grassland > Biomass burning ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$) > Grassland remaining grassland > Controlled burning > All [IPCC Software] | 4(IV).C.1.a | 4.C.1 | CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Grassland > Carbon stock change > Grassland remaining grassland > All [IPCC Software] | 4.C.1 | 4(II).C.1 | CO2 and CH4 emissions are reported under table 4(II) |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Settlements > Biomass burning ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$) > Land converted to settlements > Controlled burning > All [IPCC Software] | 4(IV).E.2.a | 4.E.2 | CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that |

| Sources and sinks reported elsewhere ("IE") | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **GHG** | **Source/sink category** | **Allocation as per IPCC Guidelines** | **Allocation used by the Party** | **Explanation** |
| | production > Combined heat and power generation > Solid fuels | | | specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Other (not specified elsewhere) > Mobile (please specify) | 1.A.5.b | 1.A.5.a | Because of confidential issue with mobile fuel consumptions, these emissions are included elsewhere in 1A5a (instead of 1A5b) together with other stationary sources |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Clinical waste | 5.C.1.a.ii.3 | 5.C.1.b.ii.3 | Clinical Waste are considered as 100% fossil |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Forest land > Biomass burning ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$) > Forest land remaining forest land > Controlled burning > All [IPCC Software] | 4(IV).A.1.a | 4.A.1 | CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Cropland > Biomass burning ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$) > Cropland remaining cropland > Controlled burning > All [IPCC Software] | 4(IV).B.1.a | 4.B.1 | CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Metal industry > Magnesium production | 2.C.4 | 2.C.7 | The emissions of carbon dioxide (CO2) from Magnesium production are included elsewhere (2C7 instead of 2C4) from 1990 to 2001 and are not occurring in fact since 2002. Emissions are aggregated to respect confidentiality. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Chemical industry > Petrochemical and carbon black production > Ethylene dichloride and vinyl chloride monomer | 2.B.8.c | 2.B.8.g.ii | There are two types of process for manufacturing vinyl chloride:<br>- Addition of HCl to acetylene (2.B.8.g.ii)<br>- Co-process for the manufacture of 1,2-dichloroethane + vinyl monochloride (2.b.8.c)<br>Both process emissions are estimated and reported in 2.B.8.g.ii as they are not determined independently. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Peat | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Non-biogenic > Other > Fossil liquid waste | 5.C.1.b.ii.5 | 5.C.1.b.ii.2 | Fossil liquid waste are reported with hazardous wastes |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry | Table 6 | Tables 4 | Emissions from combustion are based on total carbon content. Thus, indirect CO2 emissions are already included in total direct CO2 emissions reported by sector |
| $CO_2$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, |

| Sources and sinks reported elsewhere ("IE") | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **GHG** | **Source/sink category** | **Allocation as per IPCC Guidelines** | **Allocation used by the Party** | **Explanation** |
| | transportation > Other (please specify) | | | power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Non-biogenic > Other > Fossil liquid waste | 5.C.1.b.ii.5 | 5.C.1.b.ii.2 | Fossil liquid waste are reported with hazardous wastes |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Solid fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Hazardous waste | 5.C.1.a.ii.2 | 5.C.1.b.ii.2 | Hazardous Waste are considered as 100% fossil |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Metal industry > Iron and steel production > Pig iron | 2.C.1.b | 2.C.1.a | The bottom-up approach implemented does not allow separate reporting between subcategories. All the emissions are attributed to 2.C.1.a. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Metal industry > Iron and steel production > Sinter | 2.C.1.d | 2.C.1.a | The bottom-up approach implemented does not allow separate reporting between subcategories. All the emissions are attributed to 2.C.1.a. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fugitive emissions from fuels > Oil and natural gas and other emissions from energy production > Venting and flaring > Venting > Gas | 1.B.2.c.i.2 | 1.B.2.c.ii.2 | Venting emissions are not separately reported by the plant, included within Flaring emission reporting. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Liquid fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Clinical waste | 5.C.1.a.ii.3 | 5.C.1.b.ii.3 | Clinical Waste are considered as 100% fossil |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Chemical industry > Petrochemical and carbon black production > Ethylene dichloride and vinyl chloride monomer | 2.B.8.c | 2.B.8.g.ii | There are two types of process for manufacturing vinyl chloride:<br>- Addition of HCl to acetylene (2.B.8.g.ii)<br>- Co-process for the manufacture of 1,2-dichloroethane + vinyl monochloride (2.b.8.c) |

| Sources and sinks reported elsewhere ("IE") | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **GHG** | **Source/sink category** | **Allocation as per IPCC Guidelines** | **Allocation used by the Party** | **Explanation** |
| | | | | Both process emissions are estimated and reported in 2.B.8.g.ii as they are not determined independently. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Metal industry > Iron and steel production > Sinter | 2.C.1.d | 2.C.1.a | The bottom-up approach implemented does not allow separate reporting between subcategories. All the emissions are attributed to 2.C.1.a. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Gaseous fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Peat | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Biomass | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Wetlands > Drainage & rewetting and other management of soils ($CO_2$, $N_2O$, $CH_4$) > Wetlands remaining wetlands > Flooded land remaining flooded land > Total mineral soils > Rewetted mineral soils | 4(II) | 4.H | Emissions from the reservoir of Petit-Saut are included in 4.H |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Other fossil fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Non-biogenic > Other > Industrial solid wastes | 5.C.1.b.ii.1 | 5.C.1.b.i | Non dangerous industrial solid waste are reported with municipal solid waste |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Railways > Solid fuels | 1.A.3.c | 1.A.4.a | Emissions from solid fuels from Railways are included in 1.A.4.A |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > | 2.C.1.b | 2.C.1.a | The bottom-up approach implemented does not allow separate reporting between subcategories. All the emissions are attributed to 2.C.1.a. |

| Sources and sinks reported elsewhere ("IE") | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **GHG** | **Source/sink category** | **Allocation as per IPCC Guidelines** | **Allocation used by the Party** | **Explanation** |
| | Metal industry > Iron and steel production > Pig iron | | | |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Other (not specified elsewhere) > Mobile (please specify) | 1.A.5.b | 1.A.5.a | Because of confidential issue with mobile fuel consumptions, these emissions are included elsewhere in 1A5a (instead of 1A5b) together with other stationary sources |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Industrial solid wastes | 5.C.1.a.ii.1 | 5.C.1.a.i | Non dangerous industrial solid waste are reported with municipal solid waste |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Chemical industry > Petrochemical and carbon black production > Ethylene dichloride and vinyl chloride monomer | 2.B.8.c | 2.B.8.g.ii | There are two types of process for manufacturing vinyl chloride:<br>- Addition of HCl to acetylene (2.B.8.g.ii)<br>- Co-process for the manufacture of 1,2-dichloroethane + vinyl monochloride (2.b.8.c)<br>Both process emissions are estimated and reported in 2.B.8.g.ii as they are not determined independently. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $CH_4$ | Sectors/Totals > Energy > Fugitive emissions from fuels > Oil and natural gas and other emissions from energy production > Natural gas > Production and gathering | 1.B.2.b.ii production | 1.B.2.b.iii processing | Production and processing cannot be split and are entirely reported under processing |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Agriculture > Manure management > $N_2O$ and NMVOC emissions > $N_2O$ emissions per MMS | Composting | Other manure management systems (mainly "solid storage" and "other") | Composting is currently not reported separately due to a lack of data. Manure that would be composted is currently recorded among the other management systems. It is difficult at present to identify the systems that include this composted manure, but we can imagine that it mainly concerns “solid storage” and “other” systems (poultry manure and accumulated litter) because these are the main types of manure likely to undergo composting. |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Non-biogenic > Other > Industrial solid wastes | 5.C.1.b.ii.1 | 5.C.1.b.i | Non dangerous industrial solid waste are reported with municipal solid waste |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Solid fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Railways > Solid fuels | 1.A.3.c | 1.A.4.a | Emissions from solid fuels from Railways are included in 1.A.4.A |

| Sources and sinks reported elsewhere ("IE") | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **GHG** | **Source/sink category** | **Allocation as per IPCC Guidelines** | **Allocation used by the Party** | **Explanation** |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Non-biogenic > Other > Fossil liquid waste | 5.C.1.b.ii.5 | 5.C.1.b.ii.2 | Fossil liquid waste are reported with hazardous wastes |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Other (not specified elsewhere) > Mobile (please specify) | 1.A.5.b | 1.A.5.a | Because of confidential issue with mobile fuel consumptions, these emissions are included elsewhere in 1A5a (instead of 1A5b) together with other stationary sources |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Other fossil fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Peat | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Liquid fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Clinical waste | 5.C.1.a.ii.3 | 5.C.1.b.ii.3 | Clinical Waste are considered as 100% fossil |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Biomass | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |

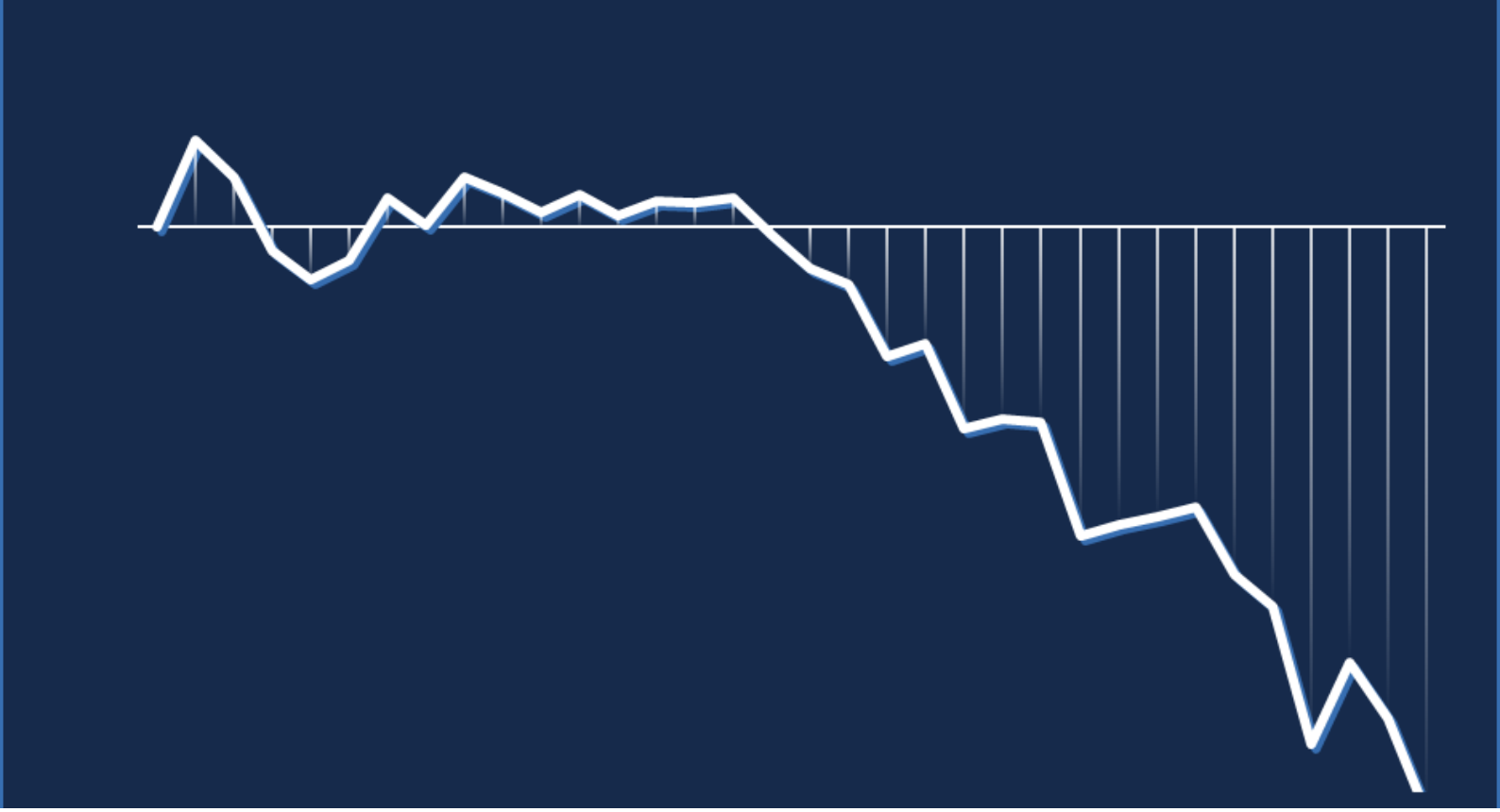
| Sources and sinks reported elsewhere ("IE") | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **GHG** | **Source/sink category** | **Allocation as per IPCC Guidelines** | **Allocation used by the Party** | **Explanation** |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Hazardous waste | 5.C.1.a.ii.2 | 5.C.1.b.ii.2 | Hazardous Waste are considered as 100% fossil |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Waste > Incineration and open burning of waste > Waste incineration > Biogenic > Other > Industrial solid wastes | 5.C.1.a.ii.1 | 5.C.1.a.i | Non dangerous industrial solid waste are reported with municipal solid waste |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Transport > Other transportation > Other (please specify) | 1.A.3.e.ii | 1.A.4.a | The french energy balance do not provide any distinct consumption for airports and harbours ground transport activities (the consumptions are included in commercial sector 1.A.4.a ), and no detailed data (engine type, power, hour of use, etc.) are available to make a bottom up calculation. |
| $N_2O$ | Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Energy industries > Public electricity and heat production > Combined heat and power generation > Gaseous fuels | 1.A.1.a.ii | 1.A.1.a.i & 1.A.1.a.iii | Emissions from combined heat and power generation are included in Electricity generation (1A1ai) and Heat plants (1A1aiii). Some operators perform CHP in addition to their primary activity, but the fuel consumptions for that specific purpose are not known, hence the distinction of CHP from heat or electricity production is impossible so far. |
| HFC-134a | Sectors/Totals > Industrial processes and product use > Product uses as substitutes for ODS > Other applications > Emissive > HFC-134a | 2.F.6 Emissive (from manufacture) | 2.F.Solvents (from stocks) | Emissions are aggregated to respect confidentiality (1 site) |

# 1.8 Métriques utilisées (MPG paragraphe 37)

Seuls les PRG à 100 ans de l'AR5 du GIEC sont utilisés pour l'inventaire GES de la France, cf. section 1.1, partie « **Pouvoir de réchauffement global et définitions »** pour plus de détail par GES.

# 1.9 Mécanismes de flexibilité utilisés (MPG paragraphes 4-6)

Concernant les mécanismes de flexibilité prévus dans les MPG de l'Accord de Paris, ceux-ci concernent les pays en développement en fonction de leur capacité. La France n'est pas concernée.



# 2. EVOLUTION DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

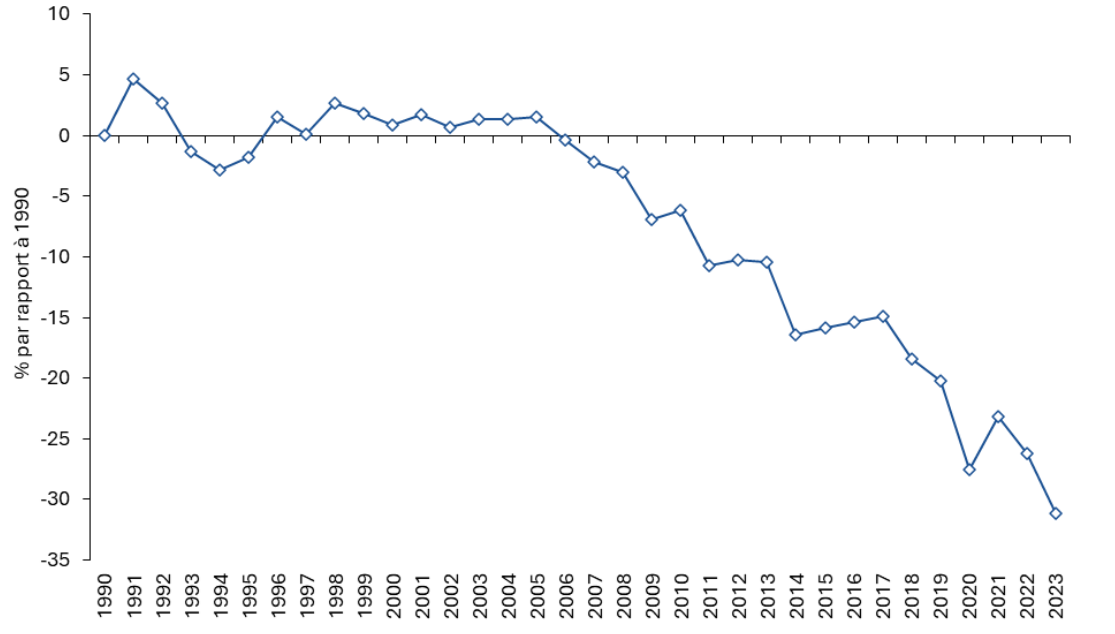
# 2.1 Évolution globale des émissions de gaz à effet de serre

*→ Cf. annexe 6 : CRT 1990, 2022 et 2023 pour des résultats résumés, les autres années sont disponibles sur les fichiers informatiques.*

## 2.1.1 Évolution en France – périmètre France UE

Les variations des rejets des sept gaz à effet de serre se traduisent globalement par une baisse de 31,1 % des émissions (hors UTCATF) en 2023 comparé au niveau de 1990. Les émissions totales exprimées en $CO_2$ équivalent, UTCATF inclus, sont en baisse de 35,3 % de 1990 à 2022. Une réduction encore plus notable est observée lorsque les émissions totales, UTCATF inclus, sont rapportées à la population (-44,8 %) ou au Produit Intérieur Brut (-74,4 %). Cette baisse des émissions totales résulte des évolutions respectives des différents gaz dont les émissions sont toutes en baisse par rapport à 1990, excepté pour les HFC. Les fluctuations des émissions totales sont également liées à la rigueur du climat selon les années, et aux conditions économiques. Concernant l'année 2020 en particulier, il faut rappeler le caractère exceptionnel du niveau des émissions de GES de cette année du fait des mesures sanitaires mises en place pour lutter contre la pandémie de la Covid-19 (-9,2 % d'émissions entre 2020 et 2019 hors UTCATF). Un rebond a été observé en 2021 après cette année anormale (+6 % d'émissions entre 2020 et 2021 hors UTCATF), même si le niveau d'émission restait inférieur au niveau pré Covid. Depuis 2022, une tendance de nouveau à la baisse des émissions est observée (-3,9 % d'émissions de GES hors UTCATF entre 2021 et 2022 et -6,7% entre 2022 et 2023), et le niveau le plus bas de toute la série, hors 2020, a été atteint pour cette année. Il faut noter que cette année 2023 a été marquée par un contexte de crise énergétique et hausse des prix du gaz naturel et produits pétroliers, continuation des appels à la sobriété énergétique de la part du gouvernement, un hiver très doux, centrales nucléaires qui reprennent progressivement leur activité (2022 avait été marquée par une indisponibilité de nombreuses tranches nucléaires), etc.

**Figure 8 : Variations des émissions totales hors UTCATF au cours de la période 1990-2023 en France (Périmètre France UE)**

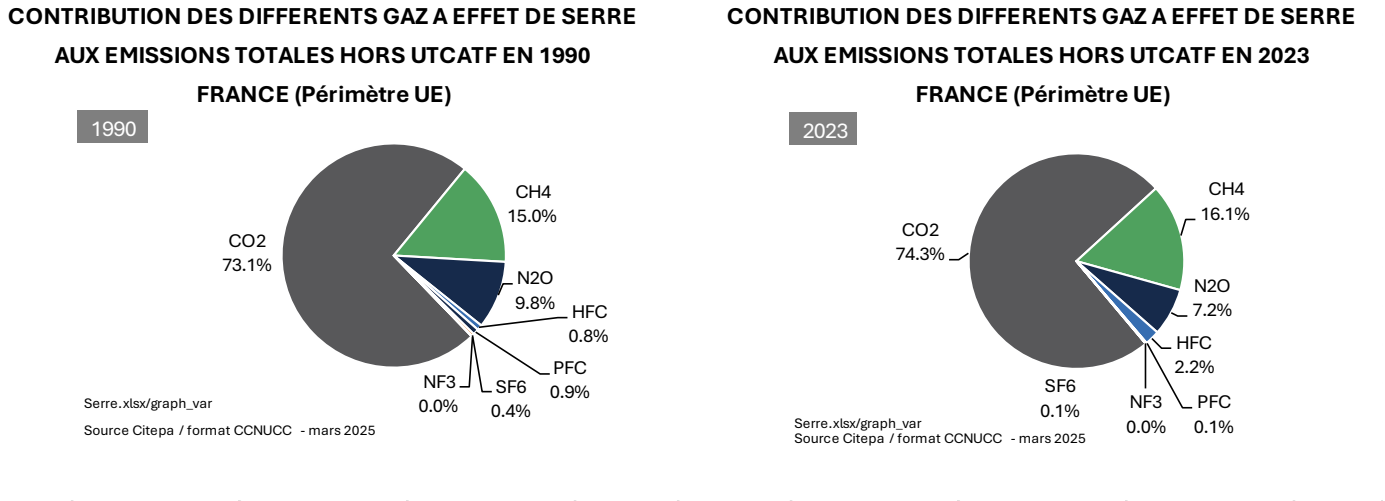



Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Serre.xlsx/graph_var

Les évolutions respectives des différents gaz à effet de serre conduisent aux contributions suivantes (hors UTCATF) en France pour les années 1990 et 2023 :

**Figure 9 : Contribution des différents gaz à effet de serre aux émissions totales hors UTCATF en 1990 et 2023 pour la France (périmètre France UE)**




La contribution du $CO_2$ aux émissions totales hors UTCATF en relatif a augmenté entre 1990 et 2023, tout comme celle des HFC et du $CH_4$.Pour les autres gaz à effet de serre (i.e., $N_2O$, PFC, $SF_6$ et $NF_3$), celle-ci diminue. En 2023, le $CO_2$ participe à hauteur de 74,3 % aux émissions totales hors UTCATF devant le $CH_4$ avec 16,1 %, puis le $N_2O$ avec 7,2 %. Les HFC, PFC, $SF_6$, et $NF_3$ occupent respectivement les dernières positions avec une contribution totale d'environ 2,5 %.

Le tableau suivant synthétise les évolutions des émissions de l'ensemble des gaz à effet de serre rapportés.

## Tableau 14 : Émissions de gaz à effet de serre en France (Périmètre France UE)[d]

***Ces valeurs sont régulièrement révisées et complétées afin de tenir compte de l'amélioration permanente des connaissances et des méthodes d'estimation. Les utilisateurs sont invités à s'assurer de l'existence de mises à jour plus récentes.***

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — serre/recap_Fr_UE.xlsx

| Substance | Unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart (%) 2023/90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Gaz à effet de serre direct* | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **$CO_2$ (direct et** | Mt | 400 | 393 | 415 | 426 | 387 | 342 | 346 | 349 | 333 | 327 | 291 | 317 | 305 | 280 | -30% |
| **Hors UTCATF** | Mt éq. C[c] | 109 | 107 | 113 | 116 | 106 | 93 | 94 | 95 | 91 | 89 | 79 | 86 | 83 | 76 | -30% |
| **$CO_2$ (direct et indirect)** | Mt | 375 | 362 | 387 | 368 | 345 | 301 | 308 | 319 | 293 | 290 | 252 | 280 | 269 | 241 | -36% |
| **net[a]** | Mt éq. C[c] | 102 | 99 | 106 | 100 | 94 | 82 | 84 | 87 | 80 | 79 | 69 | 76 | 73 | 66 | -36% |
| **$CH_4$** | kt | 2 924 | 2 954 | 2 906 | 2 730 | 2 675 | 2 420 | 2 414 | 2 389 | 2 346 | 2 345 | 2 293 | 2 241 | 2 199 | 2 170 | -26% |
| **Hors UTCATF** | Mt $CO_2$e | 82 | 83 | 81 | 76 | 75 | 68 | 68 | 67 | 66 | 66 | 64 | 63 | 62 | 61 | -26% |
| | Mt éq. C[c] | 22 | 23 | 22 | 21 | 20 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 17 | 17 | 17 | -26% |
| **$CH_4$** | kt | 2 947 | 3 080 | 2 953 | 2 761 | 2 703 | 2 446 | 2 440 | 2 415 | 2 372 | 2 370 | 2 317 | 2 265 | 2 226 | 2 193 | -26% |
| **net[a]** | Mt $CO_2$e | 83 | 86 | 83 | 77 | 76 | 68 | 68 | 68 | 66 | 66 | 65 | 63 | 62 | 61 | -26% |
| | Mt éq. C[c] | 23 | 24 | 23 | 21 | 21 | 19 | 19 | 18 | 18 | 18 | 18 | 17 | 17 | 17 | -26% |
| **$N_2O$** | kt | 203 | 204 | 164 | 142 | 120 | 119 | 116 | 120 | 116 | 112 | 108 | 110 | 102 | 102 | -50% |
| **Hors UTCATF** | Mt $CO_2$e | 54 | 54 | 43 | 38 | 32 | 31 | 31 | 32 | 31 | 30 | 29 | 29 | 27 | 27 | -50% |
| | Mt éq. C[c] | 14.7 | 14.7 | 11.8 | 10.2 | 8.7 | 8.6 | 8.4 | 8.7 | 8.4 | 8.1 | 7.8 | 7.9 | 7.4 | 7.3 | -50% |
| **$N_2O$** | kt | 211 | 210 | 169 | 147 | 126 | 123 | 120 | 124 | 120 | 116 | 111 | 113 | 105 | 105 | -50% |
| **net[a]** | Mt $CO_2$e | 56 | 56 | 45 | 39 | 33 | 33 | 32 | 33 | 32 | 31 | 29 | 30 | 28 | 28 | -50% |
| | Mt éq. C[c] | 15 | 15 | 12 | 11 | 9.1 | 8.9 | 8.7 | 8.9 | 8.6 | 8.4 | 8.0 | 8.1 | 7.6 | 7.6 | -50% |
| **HFC** | t | 659 | 804 | 3 283 | 6 298 | 8 376 | 8 780 | 8 698 | 8 499 | 7 722 | 6 742 | 6 137 | 5 751 | 5 465 | 5 221 | 693% |
| | Mt $CO_2$e | 4.2 | 1.5 | 6.1 | 12.6 | 17.1 | 17.6 | 17.3 | 16.6 | 14.9 | 12.9 | 11.4 | 10.2 | 9.2 | 8.4 | 99% |
| | Mt éq. C[c] | 1.2 | 0.4 | 1.7 | 3.4 | 4.7 | 4.8 | 4.7 | 4.5 | 4.1 | 3.5 | 3.1 | 2.8 | 2.5 | 2.3 | 99% |
| **PFC** | t | 588 | 357 | 346 | 204 | 68 | 59 | 74 | 77 | 75 | 69 | 60 | 50 | 41 | 28 | -95% |
| | Mt $CO_2$e | 4.7 | 2.8 | 2.7 | 1.6 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | -95% |
| | Mt éq. C[c] | 1.3 | 0.8 | 0.7 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | -95% |
| **$SF_6$** | t | 95 | 109 | 96 | 59 | 41 | 27 | 28 | 26 | 25 | 23 | 22 | 23 | 20 | 16 | -83% |
| | Mt $CO_2$e | 2.2 | 2.6 | 2.2 | 1.4 | 1.0 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | -83% |
| | Mt éq. C[c] | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | -83% |
| **$NF_3$** | t | 1.0 | 0.4 | 1.2 | 1.8 | 1.9 | 0.4 | 0.3 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | -25% |
| | Mt $CO_2$e | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | -25% |
| | Mt éq. C[c] | 0.004 | 0.002 | 0.005 | 0.008 | 0.008 | 0.002 | 0.001 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.003 | -25% |
| **$CO_2$e[b]** | Mt $CO_2$e | 547 | 537 | 551 | 555 | 513 | 460 | 463 | 465 | 446 | 436 | 396 | 420 | 403 | 376 | -31% |
| **Hors UTCATF** | Mt éq. C[c] | 149 | 146 | 150 | 151 | 140 | 125 | 126 | 127 | 122 | 119 | 108 | 114 | 110 | 103 | -31% |
| **$CO_2$e net[b]** | Mt $CO_2$e | 524 | 511 | 525 | 500 | 473 | 420 | 427 | 437 | 408 | 401 | 358 | 385 | 369 | 339 | -35% |
| | Mt éq. C[c] | 143 | 139 | 143 | 136 | 129 | 115 | 116 | 119 | 111 | 109 | 98 | 105 | 101 | 92 | -35% |
| | kg $CO_2$e/hab. | 9 000 | 8 589 | 8 627 | 7 910 | 7 276 | 6 318 | 6 395 | 6 530 | 6 070 | 5 952 | 5 301 | 5 672 | 5 429 | 4 965 | -45% |
| | kg C/hab.[c] | 2 454 | 2 343 | 2 353 | 2 157 | 1 984 | 1 723 | 1 744 | 1 781 | 1 655 | 1 623 | 1 446 | 1 547 | 1 481 | 1 354 | -45% |
| | g $CO_2$e/€ PIB | 498 | 420 | 355 | 283 | 237 | 191 | 191 | 190 | 173 | 165 | 155 | 154 | 140 | 127 | -74% |
| | g C /€ PIB[c] | 136 | 115 | 97 | 77 | 65 | 52 | 52 | 52 | 47 | 45 | 42 | 42 | 38 | 35 | -74% |
| *Gaz à effet de serre indirect* | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **$SO_2$ net[a]** | kt | 1 329 | 977 | 653 | 488 | 290 | 170 | 152 | 146 | 140 | 115 | 100 | 107 | 99 | 89 | -93% |
| **NOx net[a]** | kt | 2 194 | 2 024 | 1 884 | 1 663 | 1 311 | 1 069 | 1 018 | 985 | 930 | 864 | 751 | 786 | 749 | 685 | -69% |
| **hors UTCATF** | kt | 2 184 | 2 016 | 1 876 | 1 656 | 1 304 | 1 061 | 1 011 | 977 | 923 | 856 | 744 | 779 | 739 | 679 | -69% |
| **COVNM net[a]** | kt | 4 057 | 3 702 | 3 322 | 3 042 | 2 647 | 2 586 | 2 527 | 2 579 | 2 655 | 2 551 | 2 492 | 2 288 | 2 700 | 2 534 | -38% |
| **hors UTCATF** | kt | 2 904 | 2 501 | 2 144 | 1 769 | 1 495 | 1 273 | 1 262 | 1 251 | 1 210 | 1 176 | 1 131 | 1 105 | 1 116 | 1 063 | -63% |
| **CO net[a]** | kt | 10 648 | 9 043 | 6 829 | 5 808 | 4 946 | 3 346 | 3 401 | 3 304 | 3 116 | 3 041 | 2 611 | 2 823 | 2 677 | 2 391 | -78% |
| **hors UTCATF** | kt | 10 282 | 8 752 | 6 543 | 5 534 | 4 678 | 3 094 | 3 140 | 3 027 | 2 862 | 2 788 | 2 368 | 2 579 | 2 347 | 2 157 | -79% |

(a) incluant utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF)

(b) Emissions $CO_2$ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 5ème rapport du GIEC (GIEC 2014 - AR5).

PRG: $CO_2$ = 1 ; $CH_4$ = 28 ; $N_2O$ = 265 ; $SF_6$ = 23500 ; $NF_3$ = 16100 ; HFC et PFC = valeurs variables dépendantes de la composition des gaz.

(c) kt équivalent Carbone = (12/44) kt équivalent $CO_2$

(d) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

(*) Les émissions du trafic maritime international et du trafic aérien international sont exclues.

| Indicateur | Unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart (%) 2023/90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Population[e] | milliers | 58 248 | 59 519 | 60 890 | 63 159 | 65 004 | 66 542 | 66 724 | 66 912 | 67 153 | 67 377 | 67 592 | 67 837 | 68 058 | 68 280 | 17% |
| PIB[e] | milliards € courants | 1 053 | 1 217 | 1 478 | 1 765 | 1 994 | 2 197 | 2 233 | 2 296 | 2 362 | 2 437 | 2 314 | 2 498 | 2 635 | 2 664 | 150% |

(e) source INSEE

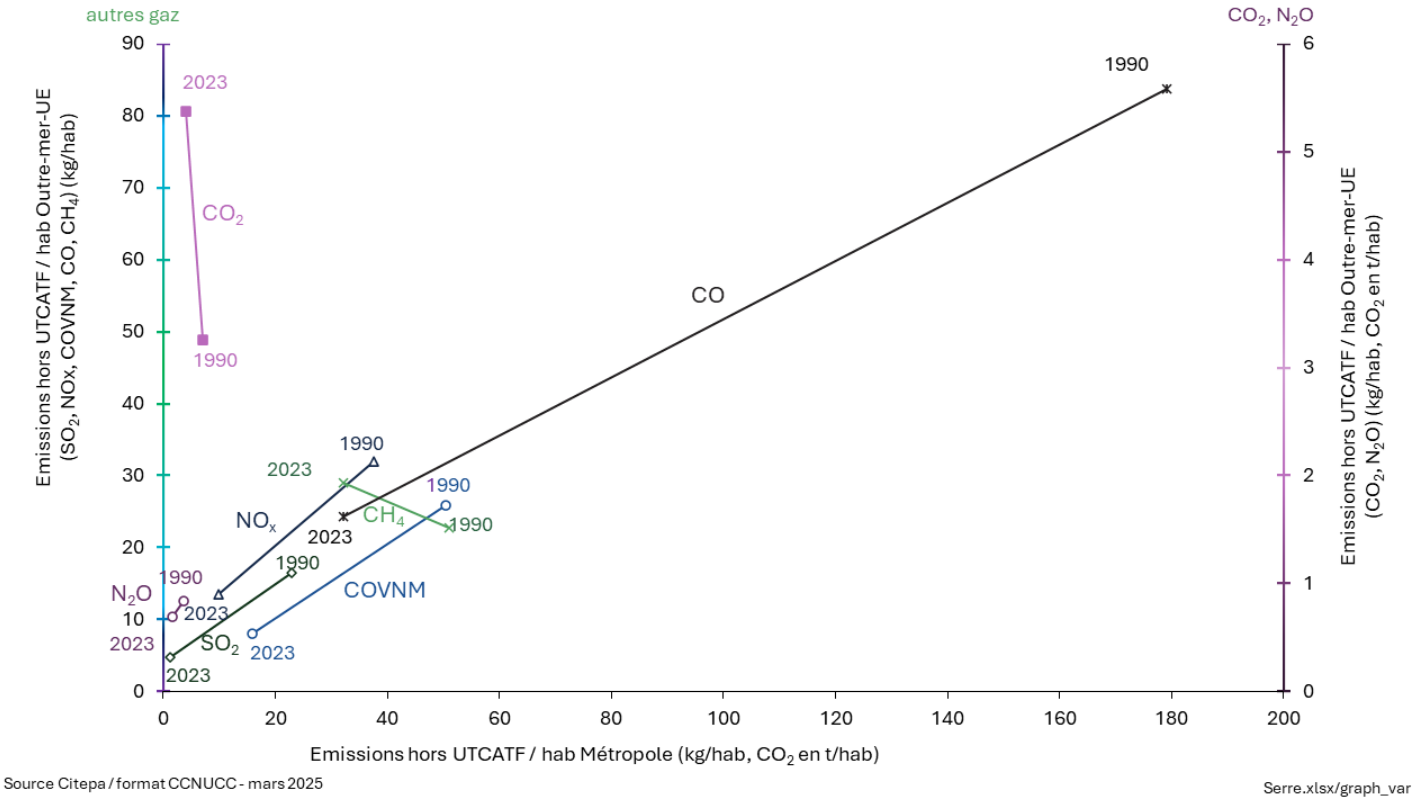
## 2.1.2 Particularités des émissions de la Métropole et des territoires Outre-mer inclus dans l'UE

La France, au périmètre dit « France UE », est constituée de deux entités : la Métropole et les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE – *cf. §1.7*. Les spécificités de l'Outre-mer engendrent des profils d'émissions qui diffèrent pour chaque entité.

En termes d'émissions totales exprimées en $CO_2$ équivalent (avec UTCATF), les observations suivantes sont faites pour les années 1990 et 2023 :

- En 2023, les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE émettent 15,0 Mt $CO_2e$ soit 4,4 % du total des émissions du périmètre France UE, pour respectivement 9,5 Mt $CO_2e$ et 1,8 % en 1990.
- Une nette augmentation des émissions de $CO_2$ dans les territoires Outre-mer UE est observée au cours de la période 1990-2023 (+50 % d'émission de $CO_2$, soit une hausse de 4,0 Mt). Les émissions totales en $CO_2e$ sur cette même période sont donc en hausse de 58 % pour l'Outre-mer UE alors qu'en Métropole, les émissions sont en baisse de presque 27 %.

**Figure 10 : Évolution des émissions hors UTCATF par habitant entre 1990 et 2023 (périmètre France UE)**




Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Serre.xlsx/graph_var

Cet accroissement important des émissions des territoires Outre-mer UE comparé à l'évolution de la Métropole est lié à une augmentation soutenue de la consommation d'énergie fossile. Les émissions de $CO_2$ sont faibles en valeur mais ont connu une forte évolution relative depuis 1990. En effet, les niveaux de 1990 étaient de 3,3 tonnes de $CO_2$/hab en Outre-mer contre 7,0 tonnes de $CO_2$/hab en Métropole, alors qu'en 2023, les émissions par habitant sont de 5,4 tonnes en Outre-Mer contre 4,1 en Métropole. Cette évolution s'explique, d'une part, par les caractéristiques socio-économiques (*cf. section 1.7)* et, d'autre part, par les spécificités technologiques de ces territoires. Pour les gaz à effet de serre indirects comme les COVNM, le CO, les $NO_x$ et le $SO_2$, une tendance à la baisse entre 1990 et 2023, similaire à celle de la métropole en évolution relative, est observée. Ces baisses résultent des différentes directives et normes implémentées au fur et à mesure des années, notamment pour la combustion de combustibles dans la production d'énergie (directive grandes installations de combustion, GIC), dans l'industrie manufacturière (directives GIC et émissions industrielles, IED, et meilleures techniques disponibles, MTD) ou encore dans le transport (normes Euro, directives pour engins mobiles non routiers et directives sur la teneur en soufre des combustibles). Enfin, les émissions de $CH_4$ par habitant sont en augmentation en Outre-mer (22,7 kg/hab en 1990 contre 28,9 en 2023), contrairement à celles de la Métropole qui ont chuté de 50,9 kg/hab en 1990 à 32,0 kg/hab en 2023, tandis que les émissions de $N_2O$ par habitant sont en baisse pour ces deux périmètres géographiques, bien que le déclin soit plus rapide en Métropole (le total Outre-mer est relativement faible avec 0,7 kg/hab en 2023).

## 2.1.3 Évolutions des émissions au titre de la Convention

Les évolutions des émissions au périmètre Convention (France entière avec tout l'Outre-mer) sont similaires à celles du périmètre France UE (cf. chapitre 2.1.1 et 2.2).

Les variations des rejets des sept gaz à effet de serre se traduisent globalement par une baisse de 30,2 % des émissions totales exprimées en $CO_2$ équivalent (hors UTCATF) en 2023 comparées au niveau de 1990. Les émissions totales, UTCATF inclus, sont en baisse de 34,3 % de 1990 à 2023.

## Tableau 15 : Émissions des gaz à effet de serre en France (France entière)

***Ces valeurs sont régulièrement révisées et complétées afin de tenir compte de l'amélioration permanente des connaissances et des méthodes d'estimation. Les utilisateurs sont invités à s'assurer de l'existence de mises à jour plus récentes.***

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — serre/recap_France.xlsx

| Substance | Unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart (%) 2023/90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Gaz à effet de serre direct* | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **$CO_2$ (direct et indirect)** | Mt | 402 | 397 | 419 | 430 | 392 | 348 | 353 | 356 | 341 | 334 | 297 | 323 | 311 | 286 | -28.9% |
| **Hors UTCATF** | Mt ég. C[(c)] | 110 | 108 | 114 | 117 | 107 | 95 | 96 | 97 | 93 | 91 | 81 | 88 | 85 | 78 | -28.9% |
| **$CO_2$ (direct et indirect)** | Mt | 377 | 366 | 389 | 372 | 350 | 307 | 315 | 327 | 300 | 299 | 257 | 286 | 275 | 248 | -34.4% |
| **net[(a)]** | Mt ég. C[(c)] | 103 | 100 | 106 | 101 | 95 | 84 | 86 | 89 | 82 | 82 | 70 | 78 | 75 | 68 | -34% |
| **$CH_4$** | kt | 2 941 | 2 971 | 2 924 | 2 748 | 2 693 | 2 441 | 2 435 | 2 410 | 2 367 | 2 366 | 2 314 | 2 262 | 2 220 | 2 191 | -26% |
| **Hors UTCATF** | Mt $CO_2$e | 82 | 83 | 82 | 77 | 75 | 68 | 68 | 67 | 66 | 66 | 65 | 63 | 62 | 61 | -26% |
| | Mt ég. C[(c)] | 22 | 23 | 22 | 21 | 21 | 19 | 19 | 18 | 18 | 18 | 18 | 17 | 17 | 17 | -26% |
| **$CH_4$** | kt | 2 966 | 3 100 | 2 970 | 2 781 | 2 723 | 2 470 | 2 464 | 2 443 | 2 395 | 2 398 | 2 339 | 2 289 | 2 248 | 2 218 | -25% |
| **net[(a)]** | Mt $CO_2$e | 83 | 87 | 83 | 78 | 76 | 69 | 69 | 68 | 67 | 67 | 65 | 64 | 63 | 62 | -25% |
| | Mt ég. C[(c)] | 23 | 24 | 23 | 21 | 21 | 19 | 19 | 19 | 18 | 18 | 18 | 17 | 17 | 17 | -25% |
| **$N_2O$** | kt | 203 | 204 | 164 | 142 | 121 | 119 | 116 | 120 | 116 | 113 | 108 | 110 | 103 | 102 | -50% |
| **Hors UTCATF** | Mt CO2e | 54 | 54 | 44 | 38 | 32 | 32 | 31 | 32 | 31 | 30 | 29 | 29 | 27 | 27 | -50% |
| | Mt ég. C[(c)] | 14.7 | 14.8 | 11.9 | 10.3 | 8.7 | 8.6 | 8.4 | 8.7 | 8.4 | 8.1 | 7.8 | 8.0 | 7.4 | 7.4 | -50% |
| **$N_2O$** | kt | 211 | 211 | 169 | 148 | 126 | 124 | 120 | 125 | 120 | 116 | 111 | 113 | 106 | 105 | -50% |
| **net[(a)]** | Mt $CO_2$e | 56 | 56 | 45 | 39 | 33 | 33 | 32 | 33 | 32 | 31 | 30 | 30 | 28 | 28 | -50% |
| | Mt ég. C[(c)] | 15 | 15 | 12 | 11 | 9.1 | 8.9 | 8.7 | 9.0 | 8.7 | 8.4 | 8.1 | 8.2 | 7.6 | 7.6 | -50% |
| **HFC** | Mt $CO_2$e | 4.2 | 1.5 | 6.1 | 12.6 | 17.2 | 17.7 | 17.4 | 16.8 | 15.1 | 13.1 | 11.6 | 10.3 | 9.3 | 8.5 | 102% |
| | Mt ég. C[(c)] | 1.2 | 0.4 | 1.7 | 3.4 | 4.7 | 4.8 | 4.7 | 4.6 | 4.1 | 3.6 | 3.2 | 2.8 | 2.5 | 2.3 | 102% |
| **PFC** | Mt $CO_2$e | 4.7 | 2.8 | 2.7 | 1.6 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | -95% |
| | Mt ég. C[(c)] | 1.3 | 0.8 | 0.7 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | -95% |
| **$SF_6$** | t | 95 | 109 | 96 | 60 | 42 | 27 | 28 | 26 | 25 | 23 | 22 | 23 | 20 | 16 | -83% |
| | Mt $CO_2$e | 2.2 | 2.6 | 2.2 | 1.4 | 1.0 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | -83% |
| | Mt ég. C[(c)] | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | -83% |
| **$NF_3$** | t | 1.0 | 0.4 | 1.2 | 1.8 | 1.9 | 0.4 | 0.3 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | -0.2 |
| | Mt $CO_2$e | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | -25% |
| | Mt ég. C[(c)] | 0.004 | 0.002 | 0.005 | 0.008 | 0.008 | 0.002 | 0.001 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.003 | -25% |
| **$CO_2$e[(b)]** | Mt $CO_2$e | 550 | 541 | 555 | 560 | 518 | 467 | 470 | 473 | 454 | 444 | 403 | 426 | 411 | 384 | -30% |
| **Hors UTCATF** | Mt ég. C[(c)] | 150 | 148 | 151 | 153 | 141 | 127 | 128 | 129 | 124 | 121 | 110 | 116 | 112 | 105 | -30% |
| **$CO_2$e net[(b)]** | Mt $CO_2$e | 528 | 515 | 528 | 504 | 478 | 428 | 435 | 447 | 416 | 411 | 365 | 392 | 376 | 347 | -34% |
| | Mt ég. C[(c)] | 144 | 141 | 144 | 138 | 130 | 117 | 119 | 122 | 113 | 112 | 100 | 107 | 102 | 95 | -34% |
| | kg $CO_2$e/hab. | 8 997 | 8 594 | 8 611 | 7 922 | 7 297 | 6 375 | 6 461 | 6 622 | 6 136 | 6 051 | 5 355 | 5 727 | 5 476 | 5 037 | -44% |
| | kg C/hab.[(c)] | 2 454 | 2 344 | 2 349 | 2 160 | 1 990 | 1 739 | 1 762 | 1 806 | 1 673 | 1 650 | 1 460 | 1 562 | 1 493 | 1 374 | -44% |
| | g $CO_2$e/€ PIB | 499 | 421 | 356 | 284 | 238 | 194 | 194 | 193 | 175 | 168 | 157 | 156 | 142 | 129 | -74% |
| | g C /€ PIB[(c)] | 136 | 115 | 97 | 77 | 65 | 53 | 53 | 53 | 48 | 46 | 43 | 43 | 39 | 35 | -74% |
| *Gaz à effet de serre indirect* | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **$SO_2$ net[(a)]** | kt | 1 347 | 1 000 | 672 | 507 | 308 | 193 | 178 | 173 | 167 | 142 | 124 | 126 | 120 | 109 | -92% |
| **NOx net[(a)]** | kt | 2 216 | 2 047 | 1 906 | 1 689 | 1 334 | 1 093 | 1 044 | 1 014 | 955 | 893 | 773 | 809 | 770 | 710 | -68% |
| **hors UTCATF** | kt | 2 203 | 2 036 | 1 898 | 1 679 | 1 325 | 1 084 | 1 034 | 1 000 | 947 | 879 | 765 | 799 | 761 | 700 | -68% |
| **COVNM net[(a)]** | kt | 4 069 | 3 713 | 3 331 | 3 050 | 2 653 | 2 592 | 2 533 | 2 587 | 2 662 | 2 559 | 2 498 | 2 294 | 2 706 | 2 541 | -38% |
| **hors UTCATF** | kt | 2 916 | 2 511 | 2 153 | 1 776 | 1 501 | 1 278 | 1 267 | 1 256 | 1 215 | 1 182 | 1 137 | 1 110 | 1 122 | 1 069 | -63% |
| **CO net[(a)]** | kt | 10 732 | 9 123 | 6 850 | 5 867 | 4 988 | 3 408 | 3 467 | 3 446 | 3 158 | 3 188 | 2 637 | 2 889 | 2 690 | 2 467 | -77% |
| **hors UTCATF** | kt | 10 310 | 8 776 | 6 559 | 5 543 | 4 683 | 3 099 | 3 145 | 3 032 | 2 867 | 2 792 | 2 372 | 2 583 | 2 351 | 2 161 | -79% |

(a) incluant utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF)

(b) Emissions $CO_2$ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 5ème rapport du GIEC (GIEC 2014 - AR5).

PRG: $CO_2$ = 1 ; $CH_4$ = 28 ; $N_2O$ = 265 ; $SF_6$ = 23500 ; $NF_3$ = 16100 ; HFC et PFC = valeurs variables dépendantes de la composition des gaz.

(c) kt équivalent Carbone = (12/44) kt équivalent $CO_2$

(d) France métropolitaine et Outre-mer périmètre France entière (territoires inclus dans l'UE, St-Barthélémy, Polynésie française, Nouvelle-Calédonie, St-Pierre-et-Mi

(*) Les émissions du trafic maritime international et du trafic aérien international sont exclues.

| Indicateur | Unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart (%) 2023/90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Population[(e)] | milliers | 58 636 | 59 951 | 61 362 | 63 671 | 65 548 | 67 110 | 67 295 | 67 486 | 67 728 | 67 953 | 68 168 | 68 414 | 68 634 | 68 856 | 17% |
| PIB[(e)] | milliards € courants | 1 058 | 1 224 | 1 486 | 1 775 | 2 006 | 2 211 | 2 246 | 2 310 | 2 376 | 2 451 | 2 328 | 2 513 | 2 650 | 2 680 | 151% |

(e) source INSEE

## 2.1.4 Évolution des émissions par gaz à effet de serre direct

Le Tableau 14 présente les émissions des sept gaz à effet de serre direct ainsi que les émissions totales exprimées en $CO_2$ équivalent pour la France (périmètre France UE) au cours de la période 1990-2023. Lors de l'analyse des résultats, les émissions sont présentées, d'une part, hors UTCATF et, d'autre part, UTCATF inclus.

L'analyse des émissions par gaz est effectuée ci-après en se basant sur les émissions du **périmètre France UE**.

Des points spécifiques d'analyse au périmètre de la Convention sont aussi ajoutés en encadré. Les résultats pour ce périmètre sont présentés dans le Tableau 15.

**$CO_2$**

Les émissions de $CO_2$ (hors UTCATF) sont en diminution de 30,0 % sur la période 1990-2023. Cette évolution est de -35,7 % si le secteur UTCATF est inclus. Les rejets de $CO_2$ sont très fortement corrélés à la consommation d'énergie fossile (CRT 1A) puisqu'en 2023, presque 90 % des émissions de $CO_2$ hors UTCATF lui sont imputables. Le transport contribue à 43,8 % aux émissions de $CO_2$ (hors UTCATF), devant le secteur agrégé résidentiel/tertiaire et agriculture (environ 20 %), et ceux de la combustion dans l'industrie manufacturière et de l'industrie de l'énergie tous deux avec 12,7 % et 12,1 % respectivement. Presque tous les secteurs de l'énergie sont en baisse sur la période 1990 - 2023, excepté le transport connaissant lui une légère augmentation (+0,8 %). La réduction exceptionnelle des émissions du transport qui avait été observée en 2020 (-10,1 % par rapport à 1990, en raison de la crise sanitaire) ne s'est pas maintenue, avec un rebond de près de 17 % entre 2020 et 2022. Toutefois, en 2023, les niveaux restent inférieurs à ceux d'avant la crise (-5,8 % par rapport à 2019) et affichent même une nouvelle diminution de 4 % par rapport à 2022. Les autres secteurs connaissent des baisses continues et plus significatives des émissions entre 2023 et 1990 (-49 % pour l'industrie de l'énergie, -45 % pour la combustion dans l'industrie manufacturière, -39 % pour le résidentiel/tertiaire/agriculture et -53 % pour le reste (1A5)).

Au périmètre Convention, les émissions de $CO_2$ sont en baisse de 28,9 % sur la période 1990-2023 hors UTCATF et de 34,4 % avec UTCATF. Les secteurs les plus contributeurs à ces émissions suivent la même hiérarchie et dans les mêmes proportions que pour le périmètre France UE.

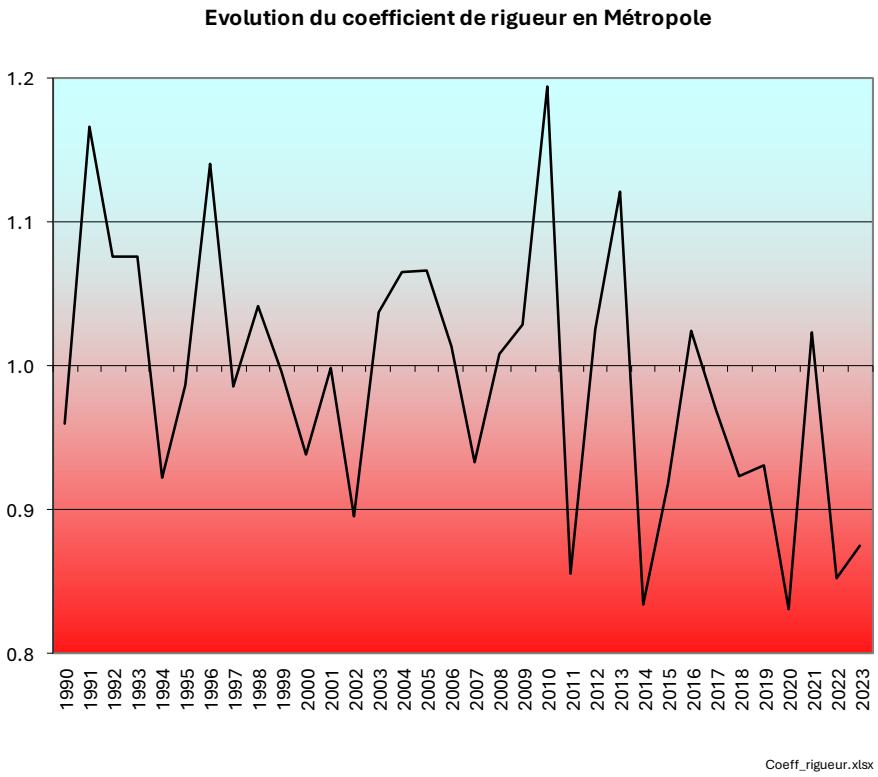
Pour le secteur "résidentiel/tertiaire et agriculture" particulièrement, et pour l'industrie de l'énergie dans une moindre mesure compte tenu du parc électronucléaire, il faut noter que les émissions sont estimées sur la base de données **non corrigées des variations climatiques**. La comparaison entre deux années doit donc être appréciée en tenant compte de l'évolution de ce paramètre.

Le coefficient de rigueur de l'année 2023 est de 0,87, valeur proche bien inférieure à la moyenne de la période 1990-2023 qui est de 0,99 (cf. figure et tableau ci-après). Bien qu'avec un coefficient de rigueur légèrement plus élevé qu'en 2022, l'année 2023 constitue l'une des années les plus chaudes observées depuis 1990, se rapprochant du niveau des années 2014 et 2020. Pour rappel, l'année 2020 avait été l'année la plus douce enregistrée sur 1990-2023, avec un minimum du coefficient de rigueur à 0,831. La comparaison des émissions de ces dernières années doit donc se faire en gardant à l'esprit non seulement le contexte sanitaire et économique lié au Covid-19, mais la variation de la rigueur de l'hiver. Ceci influence directement les niveaux de consommation d'énergie et donc les émissions de $CO_2$ du secteur "résidentiel/tertiaire". Après avoir chuté de -3,0 % entre 2019 et 2020, puis être remonté au niveau de 2019 en 2021 (malgré un coefficient de rigueur plus élevé en 2021), une baisse significative des émissions de $CO_2$ a été observée pour ce secteur en 2023, et ce pour la deuxième année consécutive (-11 % comparativement à 2022, mais aussi -21,5 % comparé à 2020). Ceci est dû en partie à la rigueur de l'hiver, mais d'autres phénomènes structurels tels que l'influence des changements de comportements, le prix des énergies et les performances des bâtiments sont probablement également à l'origine de cette tendance observée. En 2023, la consommation de combustibles de ce secteur est la plus faible observée depuis 1990, et 15,6 % en dessous du niveau de 2022. L'année 2022 représente la deuxième consommation totale la plus faible observée sur la période, avec un des coefficients de rigueur les plus bas (0,85). En ce qui concerne l'industrie de l'énergie, et la production d'électricité en particulier, la rigueur climatique et la disponibilité des filières renouvelables et nucléaire influent sur les émissions, sachant que la production électrique française métropolitaine est composée entre 86,2 % et 93,6 % par des filières dites "non carbonées", majoritairement nucléaire (64 % à 79 %) et renouvelable (hydraulique, éolien, solaire, etc.). A titre informatif, au périmètre France UE (i.e., y compris les DROM), la production électrique est légèrement moins décarbonée, variant entre 85,2 % et 92,6 % sur la période 2011-2023. La disponibilité de ces filières est variable selon les années. En 2022, par exemple, la disponibilité de la filière des centrales nucléaires a été en forte baisse comparée à 2021 (-22 %), et constitue le niveau le plus faible observé depuis 1990. En 2023 elle enregistre une augmentation de 15%, revenant au niveau de 2018. La filière hydraulique, éolien et photovoltaïque est elle aussi en augmentation, avec +25 % entre 2022 et 2023.

Les émissions peuvent également être influencées par le bilan import-export d'électricité évolutif au fil des années.

**Tableau 16 et Figure 11 : coefficient de rigueur (Métropole)**

| Période 1990 - 2023 (moyenne trentenaire 1991 - 2020) | |
|---|---|
| 1990 | 0.96 |
| 1991 | 1.17 |
| 1992 | 1.08 |
| 1993 | 1.08 |
| 1994 | 0.92 |
| 1995 | 0.99 |
| 1996 | 1.14 |
| 1997 | 0.99 |
| 1998 | 1.04 |
| 1999 | 1.00 |
| 2000 | 0.94 |
| 2001 | 1.00 |
| 2002 | 0.89 |
| 2003 | 1.04 |
| 2004 | 1.06 |
| 2005 | 1.07 |
| 2006 | 1.01 |
| 2007 | 0.93 |
| 2008 | 1.01 |
| 2009 | 1.03 |
| 2010 | 1.19 |
| 2011 | 0.86 |
| 2012 | 1.03 |
| 2013 | 1.12 |
| 2014 | 0.83 |
| 2015 | 0.92 |
| 2016 | 1.02 |
| 2017 | 0.97 |
| 2018 | 0.92 |
| 2019 | 0.93 |
| 2020 | 0.83 |
| 2021 | 1.02 |
| 2022 | 0.85 |
| 2023 | 0.87 |




*Sources : SDES, CPDP*

*N.B. La période de référence pour le calcul du coefficient de rigueur est 1991 – 2020. La température seuil est de 17°C.*

Des épisodes singuliers, comme la canicule de l'été 2003, ont également un effet sur l'augmentation de la consommation d'énergie, du fait d'un surcroît d'utilisation de la climatisation dans le secteur "résidentiel/tertiaire". Le coefficient de rigueur climatique annuel ne reflète pas ces épisodes extrêmes de chaleur estivale.

Concernant les émissions de $CO_2$ ne provenant pas de la consommation d'énergie fossile, les procédés industriels en constituent le principal secteur émetteur avec 8,8 % des émissions de $CO_2$ hors UTCATF en 2023.

Le secteur UTCATF présente de fortes incertitudes et l'interprétation de son évolution interannuelle doit se faire avec prudence. En France, le bilan net du secteur UTCATF est un puits net : les absorptions (croissance de la biomasse en forêt, boisement…) compensent les émissions (mortalité et prélèvement de la biomasse en forêt, déboisement, artificialisation…). Ce puits net connaissait une tendance générale à la hausse entre 1990 et 2005, malgré une baisse ponctuelle liée à la tempête de 1999. La croissance des arbres et un taux de récolte peu intensif expliquaient une capitalisation des arbres sur pied. A cette croissance en volume s'ajoute une croissance en surface de la forêt française. Depuis 2008, et surtout depuis 2013, ce puits a connu une stagnation puis une forte baisse, principalement du fait d'une hausse de la mortalité des arbres par l'effet de sécheresses et d'épisodes sanitaires, d'un ralentissement de la croissance, et d'une hausse des prélèvements.

Le bilan de l'UTCATF en $CO_2$ est passé de -25,1 Mt en 1990 à -42,0 en 2010 et -38,9 Mt en 2023. La baisse du puits en 2000 est liée aux tempêtes de 1999. En 2009, le puits régresse également du fait de la tempête Klaus début 2009.

Pour les deux derniers paragraphes, l'analyse au périmètre de la Convention est identique. Les émissions des territoires hors UE influent peu sur les résultats globaux.

**$CH_4$**

Les émissions de $CH_4$ (hors UTCATF) diminuent sur la période 1990-2023 (-26 %), mais avec des évolutions très disparates selon les secteurs.

L'agriculture est, tout au long de la période, la source d'émission de $CH_4$ dominante avec 71,3 % des émissions hors UTCATF en 2023, et enregistre une baisse depuis 1990 de 19,3 %, principalement du fait de l'érosion des cheptels.

La baisse de ce polluant sur la période résulte également des évolutions enregistrées dans le secteur de l'énergie.

Le secteur de l'énergie (5,1 % du total des émissions de $CH_4$ hors UTCATF en 2023, mais 17 % en 1990) enregistre une baisse de 78 % de ses émissions de $CH_4$, du fait de l'arrêt de l'activité minière de charbon, de la baisse des consommations de bois de chauffage dans le résidentiel couplée à l'introduction d'équipements plus performants ainsi que de l'amélioration des performances lors de la transmission et la distribution du gaz naturel.

Le secteur des déchets, autre contributeur significatif aux émissions de $CH_4$ (23,5 % du total hors UTCATF en 2023), enregistre quant à lui une légère hausse (+2,3 %) de ses émissions en 2023 par rapport à 1990, principalement due à l'augmentation des activités du traitement des eaux et rejets (5D, +42 % d'émissions par rapport à 1990) et du traitement biologique des déchets solides (5B, +482 % d'émissions par rapport à 1990). Le principal contributeur du secteur des déchets reste les installations de stockage de déchets non dangereux (5A), dont les émissions sont en diminution de 6,3 % depuis 1990, expliquant la stagnation du secteur. Bien que le niveau des émissions soit en légère hausse comparativement à celui de 1990, les émissions de méthane du secteur des déchets connaissent une baisse significative de 25,6 % depuis 2005.

Pour le $CH_4$, l'analyse au périmètre de la Convention est identique. Les émissions des territoires hors UE influent peu sur les résultats globaux.

**$N_2O$**

L'agriculture reste le secteur prédominant avec 78 % des émissions de $N_2O$ hors UTCATF en 2023. Les émissions de ce secteur ont toutefois diminué de 22 % entre 1990 et 2023.

Jusqu'en 1997, les émissions de $N_2O$ hors UTCATF fluctuaient avec une amplitude de quelques pourcents. Depuis cette date, une nette diminution est observée en raison principalement des actions menées dans le secteur de l'industrie chimique. La diminution relative est de -50 % hors UTCATF en 2023 par rapport à 1990.

La baisse conséquente des émissions des procédés de l'industrie (40 % des émissions totales de $N_2O$ hors UTCATF en 1990 contre 2 % en 2023, soit une chute de 98% de ses émissions) explique entre autre la contribution croissante du secteur de l'énergie qui passe de moins de 6 % en 1990 à un peu plus de 11 % en 2023.

Pour le $N_2O$, l'analyse au périmètre de la Convention est identique. Les émissions des territoires hors UE influent peu sur les résultats globaux.

**HFC**

Les rejets de HFC sont caractérisés par un accroissement très fort de la quantité émise en masse entre 1990 et 2023 suite à l'utilisation de ces produits en substitution aux CFC et HCFC (environ +688 % en masse). Toutefois, l'effet de structure des différentes molécules émises conduit à un accroissement plus limité en $CO_2$e (+99 %). De 1995 à 2012, les émissions de HFC (en $CO_2$e) ont augmenté chaque année, mais une baisse est à noter depuis 2013 (-54 % de baisse en $CO_2$e en 2023 par rapport à 2012) du fait de la diminution des émissions dans le secteur de la climatisation et réfrigération et notamment du remplacement du HFC-134a dans les climatisations automobiles par du HFO-1234yf dont l'effet est moins impactant sur le climat.

Pour les HFC, l'analyse au périmètre de la Convention est identique. Les émissions des territoires hors UE influent peu sur les résultats globaux.

De 1990 à 1993, la synthèse de HFC et ses sous-produits sont la principale source d'émissions. Le HFC-23, sous-produit de la fabrication du HCFC-22, et le HFC-143a, produit par l'industrie chimique, étaient les principaux composés émis à l'atmosphère avec des potentiels de réchauffement globaux respectifs de 12 400 et 4 800 par rapport au $CO_2$ (PRG à 100 ans, AR5). Les réductions opérées dès 1992 par la mise en place de traitements ont permis une première baisse des émissions jusqu'en 1995 (meilleure maîtrise des émissions fugitives).

A partir de 1993, la consommation de HFC, en substitution des CFC interdits par le Protocole de Montréal, augmente largement notamment avec le développement de l'utilisation de ces produits comme fluides frigorigènes (climatisation automobile et froid commercial) et dans les aérosols. Le HFC-134a (PRG de 1300 en équivalent $CO_2$ en AR5), est donc de plus en plus utilisé et son accroissement se poursuit à un rythme soutenu depuis.

A partir de 2000, l'utilisation des HFC comme agent propulseur de certaines mousses, en substitution des HCFC, entraine des émissions supplémentaires lors de la fabrication, pendant leur durée de vie et en fin de vie des équipements.

**PFC**

Les PFC voient leurs émissions en masse et en $CO_2$e réduites de 99 % et 95 %, respectivement, au cours de la période 1990 – 2023.

Les émissions en masse de PFC sont en régression jusqu'en 1996 (meilleur contrôle des émissions du PFC-14 et du PFC-116 lors de la production d'aluminium par électrolyse) puis repartent à la hausse du fait d'une utilisation accrue de ces produits dans l'industrie électronique et d'une recrudescence des émissions liées aux effets d'anode lors de l'électrolyse de l'aluminium (facteur d'émission et production qui varient sur les dernières années). De nouveau, depuis 2000, un meilleur contrôle des conditions opératoires des procédés de l'aluminium a permis une diminution des émissions, même si les émissions spécifiques ont connu des pics en 2002 et 2003. L'arrêt d'un site de production d'aluminium en 2003 a permis une nouvelle baisse des émissions, en équivalent $CO_2$, en 2004 de -32 % en un an. Une autre fermeture de site début 2008 a conduit à une autre baisse significative (-35 % entre 2007 et 2008). Les émissions de PFC de l'industrie des semi-conducteurs sont également en baisse ces dernières années. Depuis 2008, les émissions de PFC, en masse comme en $CO_2$e, sont relativement stables et proviennent en majorité du $C_6F_{14}$ employé comme solvant et comme fluide de transfert de chaleur.

Les effets de structure sont moins importants pour les PFC que dans le cas des HFC car les PRG des différentes molécules sont plus proches (entre 6 630 et 11 100 équivalent $CO_2$). De plus, les variations des émissions en masse de chaque PFC ne sont pas aussi importantes que dans le cas des HFC. Par suite, les quantités de PFC exprimées en équivalent $CO_2$, diminuent entre 1990 et 2023 dans une proportion similaire à celle des émissions en masse.

Pour les PFC, l'analyse au périmètre de la Convention est identique. Les émissions des territoires hors UE n'influent pas sur les résultats globaux.

**$SF_6$**

Les émissions de $SF_6$ étaient en hausse lente mais régulière jusqu'en 1998. Le niveau des années suivantes enregistre une baisse du fait d'une consommation de $SF_6$ plus faible dans l'industrie du magnésium, de la suppression de l'utilisation de ce composé dans la fabrication de certaines chaussures de sport, d'une meilleure maîtrise des fuites dans la fabrication des équipements électriques et de la réduction des émissions diffuses dans les opérations de maintenance de ces équipements. La situation observée en 2023 fait apparaître une baisse de 83 % par rapport à 1990. Les émissions de 2023 sont en baisse significative (-19 %) comparativement à 2022.

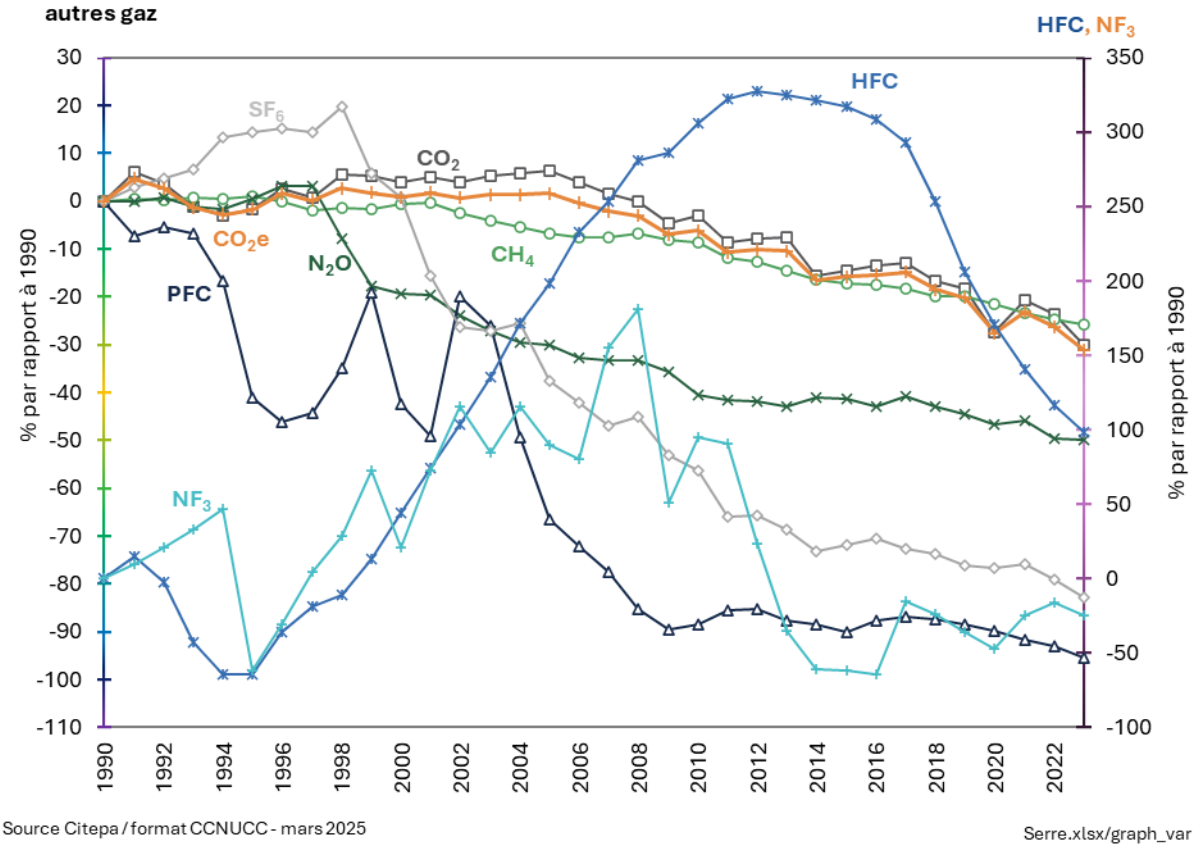
Pour le $SF_6$, l'analyse au périmètre de la Convention est identique. Les émissions des territoires hors UE influent peu sur les résultats globaux.

**$NF_3$**

Le $NF_3$ est uniquement utilisé en France dans l'industrie de la fabrication de semi-conducteurs. Les émissions de $NF_3$ augmentent jusqu'en 1994 du fait d'une augmentation accrue des consommations de ce gaz dans ce secteur puis diminuent en 1995 suite à la mise en place de procédés de traitement des gaz. A partir de 1996, une nouvelle augmentation des émissions est observée due à la consommation plus importante de ce gaz. A partir de 2005, les émissions fluctuent et évoluent annuellement en fonction des consommations et de l'efficacité des systèmes de traitement. La situation observée en 2023 fait apparaître une baisse de -25 % par rapport à 1990, et également comparativement à 2022 (-10,5 %).

Pour le $NF_3$, l'analyse au périmètre de la Convention est identique puisqu'il n'y a aucune usine de production de semi-conducteurs dans les territoires Outre-mer non inclus dans l'UE.

**Figure 12 : Variations des émissions de gaz à effet de serre direct hors UTCATF au cours de la période 1990-2023 en France (périmètre France UE)**




Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Serre.xlsx/graph_var

**Tableau 17 : Émissions détaillées des HFC et PFC en France (Périmètre France UE)[f]**

***Ces valeurs sont régulièrement révisées et complétées afin de tenir compte de l'amélioration permanente des connaissances et des méthodes d'estimation. Les utilisateurs sont invités à s'assurer de l'existence de mises à jour plus récentes.***

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — serre/HFC_PFC.xlsx

| Substances | Unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart (%) 2023/90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *HFC* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HFC-23 | t | 142 | 19 | 32 | 35 | 12 | 7.5 | 8.0 | 9.1 | 9.0 | 9.1 | 14 | 17 | 7.9 | 5.5 | 4.2 | 1.1 | 0.7 | 0.5 | -100% |
| HFC-32 | t | NO | 2.1 | 12 | 127 | 353 | 390 | 421 | 460 | 511 | 559 | 608 | 652 | 707 | 765 | 818 | 890 | 1 005 | 1 121 | - |
| HFC-4310mee | t | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | - |
| HFC-125 | t | 8.6 | 62 | 242 | 844 | 1 412 | 1 488 | 1 523 | 1 541 | 1 557 | 1 571 | 1 561 | 1 525 | 1 465 | 1 357 | 1 232 | 1 115 | 1 020 | 947 | 10945% |
| HFC-134a | t | IE,NO | 661 | 2 670 | 4 001 | 4 782 | 4 925 | 4 933 | 4 926 | 4 949 | 4 925 | 4 943 | 4 811 | 4 184 | 3 510 | 3 216 | 3 004 | 2 802 | 2 599 | - |
| HFC-152a | t | NO | NO | NO | 319 | 362 | 380 | 381 | 297 | 269 | 233 | 202 | 201 | 189 | 156 | 120 | 132 | 149 | 136 | - |
| HFC-143a | t | 508 | 35 | 278 | 800 | 1 157 | 1 192 | 1 189 | 1 154 | 1 111 | 1 065 | 988 | 900 | 777 | 625 | 486 | 357 | 252 | 183 | -64% |
| HFC-227ea | t | NO | 1.2 | 17 | 41 | 65 | 74 | 77 | 78 | 77 | 80 | 79 | 75 | 73 | 68 | 67 | 64 | 64 | 61 | - |
| HFC-365mfc | t | NO | NO | 6.4 | 25 | 91 | 109 | 114 | 116 | 143 | 155 | 154 | 146 | 162 | 130 | 93 | 90 | 84 | 63 | - |
| HFC-245fa | t | NO | NO | 1.0 | 10 | 27 | 33 | 39 | 40 | 45 | 67 | 92 | 114 | 115 | 96 | 69 | 70 | 68 | 76 | - |
| HFC-mix[a] (kt $CO_2$e) | kt $CO_2$e | 0 | 36 | 40 | 141 | 149 | 245 | 305 | 271 | 194 | 143 | 64 | 63 | 45 | 33 | 34 | 30 | 24 | 32 | - |
| **total HFC hors HFC-mix** | **t** | **659** | **782** | **3 259** | **6 202** | **8 261** | **8 599** | **8 685** | **8 621** | **8 672** | **8 664** | **8 640** | **8 442** | **7 681** | **6 712** | **6 105** | **5 722** | **5 444** | **5 186** | **688%** |
| *PFC* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PFC-14 | t | 391 | 242 | 238 | 131 | 20 | 26 | 22 | 16 | 15 | 11 | 18 | 12 | 14 | 14 | 13 | 9.0 | 8.3 | 5.3 | -99% |
| PFC-116 | t | 162 | 68 | 77 | 38 | 7.3 | 8.7 | 8.0 | 5.1 | 4.5 | 4.1 | 6.0 | 5.4 | 3.7 | 4.0 | 3.6 | 3.2 | 3.8 | 1.8 | -99% |
| PFC-218 | t | 0.003 | 0.003 | 0.092 | 0.093 | NO | NO | 0.013 | NO | NO | NO | NO | NO | 0.034 | NO | NO | NO | NO | NO | - |
| PFC-318 | t | 8.4 | 10.2 | 14.0 | 0.7 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | -98% |
| PFC-mix[b] (kt $CO_2$e) | kt $CO_2$e | 206 | 295 | 130 | 273 | 326 | 408 | 453 | 420 | 382 | 344 | 392 | 472 | 455 | 400 | 347 | 294 | 223 | 162 | -22% |
| **total PFC hors PFC-mix** | **t** | **562** | **321** | **329** | **170** | **27** | **35** | **30** | **21** | **20** | **16** | **24** | **18** | **18** | **18** | **16** | **12** | **12** | **7.3** | **-99%** |
| *Total* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Substances** | **Unité** | **1990** | **1995** | **2000** | **2005** | **2010** | **2011** | **2012** | **2013** | **2014** | **2015** | **2016** | **2017** | **2018** | **2019** | **2020** | **2021** | **2022** | **2023** | **Ecart (%) 2023/90** |
| total HFC (kt $CO_2$e) | kt $CO_2$e | 4 226 | 1 510 | 6 081 | 12 590 | 17 141 | 17 862 | 18 073 | 17 952 | 17 806 | 17 613 | 17 257 | 16 620 | 14 935 | 12 919 | 11 434 | 10 165 | 9 157 | 8 391 | 99% |
| total PFC (kt $CO_2$e) | kt $CO_2$e | 4 685 | 2 757 | 2 700 | 1 573 | 540 | 676 | 688 | 582 | 535 | 465 | 580 | 613 | 590 | 538 | 472 | 390 | 323 | 219 | -95% |

(a) Comprend les HFC utilisés dans les secteurs solvant et production de caoutchouc synthétique
(b) Comprend les PFC utilisés dans des applications spécifiques (solvant, médicales et cosmétiques, etc.)
(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)
(*) Les émissions du trafic maritime international et du trafic aérien international sont exclues.

## 2.1.5 Évolution des émissions des gaz à effet de serre indirect

Les quatre gaz à effet de serre indirect étudiés voient leurs émissions, UTCATF inclus, orientées à la baisse au cours de la période 1990 - 2023 (-93 % pour le $SO_2$, -78 % pour le CO, -38 % pour les COVNM et -69 % pour les $NO_x$).

Le rejet de 89 kt de $SO_2$ en 2023 constitue le plus bas niveau atteint depuis près d'un demi-siècle et confirme la forte tendance à la baisse entamée au milieu des années 70 et qui avait été interrompue en 1991 et 1998 en raison de circonstances particulières (moindre disponibilité du nucléaire en 1991, et forte vague de froid en 1998, augmentant le recours aux énergies fossiles). Après un léger regain d'émission observé en 2021 (+ 7,6 % comparé à 2020), le niveau d'émission semble reprendre une tendance à la baisse. Cette tendance est à mettre principalement à l'actif de la réduction de la teneur en soufre des combustibles pétroliers et à la part de plus en plus prépondérante des combustibles peu soufrés, ainsi que, plus récemment, à l'installation de techniques de dépollution sur les sources fixes les plus émettrices.

Les émissions de $NO_x$ continuent à décroître principalement en raison de l'équipement accru des véhicules routiers en pots catalytiques (-75 % d'émissions entre 1990 et 2023 pour le secteur global du transport) et de la mise aux normes des installations de combustion.

Les mêmes causes contribuent à la baisse des rejets de COVNM, mais celle-ci est également due à des progrès significatifs dans le domaine de la distribution des carburants et dans l'utilisation des solvants. Il est à noter que les très importantes émissions biotiques de COVNM des forêts sont comptabilisées dans l'UTCATF dans le total national de l'inventaire CCNUCC alors qu'elles sont comptabilisées hors total national dans les inventaires des polluants atmosphériques pour la convention sur la pollution transfrontalière à longue distance (CLRTAP) et la Directive NEC.

La forte baisse des émissions de CO provient aussi de l'équipement des véhicules en pots catalytiques, mais également de progrès dans le domaine de l'industrie, notamment la sidérurgie.

### 2.1.6 Évolution des émissions des GES en Outre-mer hors UE (PTOM)

Dans la CDN de la France, période Accord de Paris, outre les objectifs de la France dans le cadre Européen vers la neutralité carbone en 2050, des objectifs spécifiques de réductions des émissions de GES ont été formulés pour l'Outre-mer hors UE (PTOM) (-8.4% d'ici 2030 par rapport à 2016)[12].

Afin de pouvoir suivre cet objectif complémentaire relative au PTOM, dans le rapport d'inventaire GES de la France, un affichage complémentaire synthétique des évolutions de GES de l'Outre-mer hors UE est ajouté à partir de la période Accord de Paris. Ces émissions de GES correspondent à la différence des émissions entre le périmètre France entière et le périmètre France UE.

Les émissions des PTOM en termes d'évolution interannuelle se distinguent nettement de la France périmètre UE ou France entière (cf. sections 2.1.1 et 2.1.3).

Les variations des émissions de GES pour les PTOM par rapport à 1990 se traduisent globalement par une hausse de 130 % des émissions totales exprimées en $CO_2$ e hors UTCATF en 2023, et, une hausse de 135 % avec UTCATF. Par rapport à l'année de référence spécifique au PTOM, 2016, les émissions totales hors UTCATF sont en baisse de 6,6 % en 2023 et en baisse de 3,7 % avec UTCATF.

**Tableau 18bis : Émissions des gaz à effet de serre des PTOM (Outre-mer hors UE)**

***Ces valeurs sont régulièrement révisées et complétées afin de tenir compte de l'amélioration permanente des connaissances et des méthodes d'estimation. Les utilisateurs sont invités à s'assurer de l'existence de mises à jour plus récentes.***

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — recap_PTOM.xlsx

| Substance | Unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart (%) 2023/90 | Ecart (%) 2023/2016 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Gaz à effet de serre direct* | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **$CO_2$ (direct et indirect) hors UTCATF** | Mt | **2.6** | 3.2 | 3.4 | 4.1 | 4.8 | 6.2 | **6.9** | 7.0 | 7.4 | 7.1 | 6.5 | 5.8 | 6.4 | **6.4** | 151% | -7.9% |
| **$CO_2$ (direct et indirect) avec UTCATF** | Mt | **2.6** | 3.2 | 2.4 | 4.0 | 4.5 | 6.4 | **7.2** | 8.8 | 7.0 | 9.0 | 5.8 | 6.0 | 5.4 | **6.8** | 161% | -5.0% |
| **$CH_4$ hors UTCATF** | Mt $CO_2$e | **0.46** | 0.48 | 0.49 | 0.49 | 0.52 | 0.59 | **0.59** | 0.58 | 0.59 | 0.60 | 0.60 | 0.59 | 0.60 | **0.59** | 28% | 0.5% |
| **$CH_4$ avec UTCATF** | Mt $CO_2$e | **0.54** | 0.55 | 0.50 | 0.56 | 0.57 | 0.67 | **0.67** | 0.76 | 0.63 | 0.79 | 0.62 | 0.67 | 0.61 | **0.69** | 28% | 2.6% |
| **$N_2O$ hors UTCATF** | Mt CO2e | **0.15** | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.14 | 0.14 | **0.13** | 0.14 | 0.13 | 0.14 | 0.13 | 0.14 | 0.13 | **0.14** | -10% | 3.0% |
| **$N_2O$ avec UTCATF** | Mt $CO_2$e | **0.19** | 0.21 | 0.17 | 0.19 | 0.17 | 0.18 | **0.18** | 0.24 | 0.16 | 0.24 | 0.15 | 0.18 | 0.14 | **0.19** | -1.5% | 7.1% |
| **HFC** | Mt $CO_2$e | **0.00** | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.08 | 0.12 | **0.13** | 0.13 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.15 | **0.15** | | 21.5% |
| **PFC** | Mt $CO_2$e | **0.00** | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | **0.00** | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | **0.00** | | |
| **$SF_6$** | Mt $CO_2$e | **0.00** | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | **0.00** | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | **0.00** | -63% | -15.2% |
| **$NF_3$** | Mt $CO_2$e | **0.00** | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | **0.00** | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | **0.00** | | |
| **Total $CO_2$e[(a)] hors UTCATF** | Mt $CO_2$e | **3.2** | 3.8 | 4.1 | 4.8 | 5.6 | 7.1 | **7.8** | 7.9 | 8.2 | 8.0 | 7.3 | 6.7 | 7.3 | **7.3** | 130% | -6.6% |
| **Total $CO_2$e avec UTCATF** | Mt $CO_2$e | **3.3** | 4.0 | 3.1 | 4.8 | 5.3 | 7.4 | **8.1** | 9.9 | 8.0 | 10.1 | 6.7 | 7.0 | 6.3 | **7.8** | 135% | -3.7% |

(a) Emissions $CO_2$ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 5ème rapport du GIEC (GIEC 2014 - AR5).

PRG: $CO_2$ = 1 ; $CH_4$ = 28 ; $N_2O$ = 265 ; $SF_6$ = 23500 ; $NF_3$ = 16100 ; HFC et PFC = valeurs variables dépendantes de la composition des gaz.

## 2.2 Évolution des émissions par sources émettrices

Le premier tableau ci-après présente les contributions les plus importantes aux émissions hors UTCATF de chacun des gaz étudiés pour les catégories sources définies par la CCNUCC, pour l'année 2023.

Les tableaux suivants récapitulent l'ensemble des émissions au format CRT pour les polluants $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$, HFC, PFC, $SF_6$, $NF_3$, $SO_2$, $NO_x$, CO et COVNM au cours de la période 1990-2023.

[12] Cf. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/FR%20CDN%20addendum%20r%C3%A9vis%C3%A9%20-%202021.pdf

## Tableau 19 : Contribution des catégories GIEC aux émissions de gaz à effet de serre hors UTCATF en France en 2022 (Périmètre France UE)

La définition des catégories fait référence à la classification de la CCNUCC

**Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025** s_cle_hors_UTCATF.xlsx/secteurs

| | $CO_2$ (Mt) | 280 |
|---|---|---|
| | **Catégories GIEC** | **%** |
| 1A3 | Transports (*) | 43.7 |
| 1A4 | Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture (a) | 20.0 |
| 1A2 | Combustion industrie manufacturière et construction | 12.6 |
| 1A1 | Combustion transformation d'énergie | 12.1 |
| 2C | Procédés industrie métallurgique | 3.4 |
| 2A | Procédés industriels - produits minéraux | 3.0 |
| 2B | Procédés industrie chimique | 2.1 |
| | Autres sources | 3.2 |

| | $CH_4$ (kt) | 2 170 |
|---|---|---|
| | **Catégories GIEC** | **%** |
| 3A | Fermentation entérique | 60.6 |
| 5A | Stockage de déchets non dangereux | 19.2 |
| 3B | Gestion des déjections animales | 10.6 |
| 1A4 | Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture | 3.2 |
| 5D | Traitement des eaux usées | 3.1 |
| | Autres sources | 3.3 |

| | $N_2O$ (kt) | 102 |
|---|---|---|
| | **Catégories GIEC** | **%** |
| 3D1 | Emissions directes des sols agricoles | 51.5 |
| 3D2 | Emissions indirectes des sols agricoles | 15.9 |
| 3B | Gestion des déjections animales | 10.3 |
| 5D | Traitement des eaux usées | 8.7 |
| 1A4 | Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture | 4.4 |
| 1A3 | Transports (*) | 4.1 |
| 1A2 | Combustion industrie manufacturière et construction | 1.8 |
| | Autres sources | 3.2 |

| | PFC (kt équivalent $CO_2$) | 219 |
|---|---|---|
| | **Catégories GIEC** | **%** |
| 2G | Autre utilisation de PFC dans l'industrie manufacturière | 74.0 |
| 2E | Procédés industrie électronique | 16.8 |
| 2C | Procédés industrie métallurgique | 9.2 |

| | $SF_6$ (kt) | 0.02 |
|---|---|---|
| | **Catégories GIEC** | **%** |
| 2G | Autre utilisation de SF6 dans l'industrie manufacturière | 79.9 |
| 2B | Procédés industrie chimique | 18.5 |
| | Autres sources | 1.6 |

| | HFC (kt équivalent $CO_2$) | 8 391 |
|---|---|---|
| | **Catégories GIEC** | **%** |
| 2F | Utilisation des HFC | 99.7 |
| | Autres sources | 0.3 |

| | $NF_3$ (kt) | 0.0007 |
|---|---|---|
| | **Catégories GIEC** | **%** |
| 2E | Procédés industrie électronique | 100 |

| | $CO_2$e sur 7 gaz : $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$, HFC, PFC, $SF_6$, $NF_3$ (Mt équiv. $CO_2$) (b) | 376 |
|---|---|---|
| | **Catégories GIEC** | **%** |
| 1A3 | Transports (*) | 32.8 |
| 1A4 | Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture (a) | 15.7 |
| 3A | Fermentation entérique | 9.8 |
| 1A2 | Combustion industrie manufacturière et construction | 9.5 |
| 1A1 | Combustion transformation d'énergie | 9.0 |
| 3D1 | Emissions directes des sols agricoles | 4.8 |
| 5A | Stockage de déchets non dangereux | 3.1 |
| 2C | Procédés industrie métallurgique | 2.5 |
| 3B | Gestion des déjections animales | 2.4 |
| 2A | Procédés industriels - produits minéraux | 2.2 |
| 2F | Utilisation d'halocarbures | 2.2 |
| 2B | Procédés industrie chimique | 1.7 |
| | Autres sources | 4.2 |

| | NOx (kt) | 677 |
|---|---|---|
| | **Catégories GIEC** | **%** |
| 1A3 | Transports (*) | 48.0 |
| 3D1 | Emissions directes des sols agricoles | 18.7 |
| 1A4 | Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture | 13.7 |
| 1A2 | Combustion industrie manufacturière et construction | 11.4 |
| 1A1 | Combustion transformation d'énergie | 5.9 |
| | Autres sources | 2.3 |

| | CO (kt) | 2 156 |
|---|---|---|
| | **Catégories GIEC** | **%** |
| 1A4 | Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture | 53.2 |
| 1A3 | Transports (*) | 15.8 |
| 2C | Procédés industrie métallurgique | 13.2 |
| 1A2 | Combustion industrie manufacturière et construction | 12.3 |
| 1A1 | Combustion transformation d'énergie | 1.5 |
| | Autres sources | 4.0 |

| | COVNM (kt) | 1 061 |
|---|---|---|
| | **Catégories GIEC** | **%** |
| 3B | Gestion des déjections animales | 20.7 |
| 2G | Autre utilisation de solvants dans l'industrie manufacturièr | 19.1 |
| 3D1 | Emissions directes des sols agricoles | 19.0 |
| 1A4 | Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture | 16.5 |
| 2D | Utilisation non-énergétique de produits | 11.5 |
| 1A3 | Transports (*) | 4.2 |
| 2H | Procédés industrie alimentaire | 4.1 |
| 1B2 | Extraction et distribution du pétrole et gaz naturel | 1.9 |
| | Autres sources | 3.1 |

| | $SO_2$ (kt) | 89 |
|---|---|---|
| | **Catégories GIEC** | **%** |
| 1A2 | Combustion industrie manufacturière et construction | 44.7 |
| 1A1 | Combustion transformation d'énergie | 22.2 |
| 1A4 | Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture | 10.4 |
| 1B2 | Extraction et distribution du pétrole et gaz naturel | 8.8 |
| 2C | Procédés industrie métallurgique | 5.6 |
| 1A3 | Transports (*) | 3.2 |
| | Autres sources | 5.0 |

(*) les émissions répertoriées sous total national concernent les émissions entre 2 ports ou aéroports du territoire national

(a) hors $CO_2$ biomasse

(b) Emissions $CO_2$ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 5ème rapport du GIEC (GIEC 2014 - AR5).

PRG: $CO_2$ = 1 ; $CH_4$ = 28 ; $N_2O$ = 265 ; $SF_6$ = 23500 ; $NF_3$ = 16100 ; HFC et PFC = valeurs variables dépendantes de la composition des gaz.

## Tableau 20 : Émissions de $CO_2$ en France par catégorie CRT (Périmètre France UE)

**FRANCE (Périmètre UE[f])** — **$CO_2$ (kt)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — serre/CO2.xlsx

| secteurs CCNUCC | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart 2023/90 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total national (émissions directes nettes)** | **373 086** | **360 963** | **385 304** | **366 525** | **344 260** | **321 187** | **320 995** | **316 881** | **292 120** | **299 845** | **307 291** | **317 809** | **292 571** | **289 266** | **250 802** | **279 622** | **268 418** | **240 054** | **-36%** |
| **1 Energie** | **351 598** | **349 593** | **369 865** | **380 496** | **350 040** | **328 137** | **333 121** | **332 924** | **300 717** | **306 898** | **310 266** | **311 744** | **296 859** | **291 010** | **259 630** | **281 733** | **272 741** | **250 807** | **-29%** |
| **A Conso. de combustible (approche sectorielle)** | **347 236** | **345 172** | **365 568** | **376 487** | **345 819** | **324 146** | **329 719** | **329 787** | **297 669** | **303 952** | **307 308** | **308 842** | **293 861** | **288 422** | **257 426** | **279 978** | **271 102** | **249 185** | **-28%** |
| 1 Industries de l'énergie | 65 822 | 55 327 | 61 952 | 66 343 | 59 625 | 54 389 | 56 615 | 55 003 | 41 798 | 44 686 | 48 193 | 52 094 | 42 723 | 41 353 | 36 957 | 39 541 | 40 659 | 33 776 | -49% |
| 2 Industries manufacturières et construction | 63 812 | 67 242 | 65 640 | 64 169 | 54 997 | 52 319 | 50 851 | 50 301 | 47 709 | 46 530 | 46 141 | 44 033 | 43 813 | 42 621 | 39 002 | 41 886 | 38 426 | 35 322 | -45% |
| 3 Transport | 121 247 | 130 956 | 139 835 | 140 584 | 132 533 | 133 681 | 131 983 | 131 587 | 131 115 | 132 618 | 132 996 | 132 916 | 130 393 | 129 676 | 109 041 | 123 034 | 127 301 | 122 158 | 0.8% |
| 4 Autres secteurs | 91 891 | 91 054 | 96 184 | 102 765 | 96 405 | 81 081 | 87 961 | 90 639 | 74 904 | 78 053 | 78 603 | 78 447 | 75 436 | 73 281 | 71 111 | 73 586 | 62 750 | 55 826 | -39% |
| 5 Autre | 4 464 | 594 | 1 958 | 2 626 | 2 258 | 2 676 | 2 309 | 2 258 | 2 144 | 2 065 | 1 375 | 1 352 | 1 497 | 1 491 | 1 316 | 1 931 | 1 966 | 2 103 | -53% |
| **B Emissions fugitives des combustibles** | **4 362** | **4 421** | **4 296** | **4 009** | **4 221** | **3 991** | **3 402** | **3 137** | **3 049** | **2 946** | **2 958** | **2 902** | **2 998** | **2 588** | **2 204** | **1 755** | **1 638** | **1 623** | **-63%** |
| 2 Combustibles liquides et gazeux | 4 362 | 4 421 | 4 296 | 4 009 | 4 221 | 3 991 | 3 402 | 3 137 | 3 049 | 2 946 | 2 958 | 2 902 | 2 998 | 2 588 | 2 204 | 1 755 | 1 638 | 1 623 | -63% |
| **2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits** | **42 539** | **38 219** | **40 216** | **40 300** | **32 715** | **32 483** | **30 510** | **32 591** | **32 174** | **30 812** | **31 028** | **32 351** | **31 885** | **31 021** | **26 728** | **30 513** | **27 724** | **24 638** | **-42%** |
| A Produits minéraux | 14 939 | 12 430 | 12 337 | 12 618 | 11 020 | 11 335 | 10 596 | 10 621 | 10 234 | 9 687 | 9 595 | 9 501 | 9 936 | 10 016 | 9 054 | 9 740 | 9 262 | 8 397 | -44% |
| B Chimie | 8 865 | 9 010 | 9 723 | 9 107 | 7 276 | 7 292 | 7 112 | 7 193 | 7 600 | 7 542 | 7 390 | 7 652 | 7 311 | 7 342 | 6 868 | 6 931 | 5 762 | 5 869 | -34% |
| C Métallurgie | 17 679 | 15 707 | 17 040 | 17 436 | 13 428 | 12 901 | 11 886 | 13 787 | 13 352 | 12 689 | 13 116 | 14 457 | 13 836 | 12 911 | 10 073 | 12 804 | 11 567 | 9 433 | -47% |
| D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants | 1 027 | 1 030 | 1 095 | 1 083 | 956 | 921 | 868 | 940 | 970 | 872 | 909 | 711 | 783 | 748 | 729 | 1 025 | 1 125 | 937 | -8.8% |
| G Autres fabrication et utilisations de produits | 30 | 42 | 21 | 56 | 35 | 33 | 48 | 50 | 18 | 21 | 19 | 30 | 19 | 4.0 | 4.1 | 12.6 | 7.8 | 2.8 | -91% |
| H Autre | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.10 | 0.12 | 0.13 | 0.09 | 116% |
| **3 Agriculture** | **1 905** | **1 984** | **1 984** | **1 968** | **1 911** | **2 103** | **2 167** | **2 014** | **2 116** | **2 113** | **2 123** | **2 096** | **2 218** | **2 040** | **2 062** | **1 959** | **1 925** | **2 122** | **11%** |
| G Chaulage | 915 | 1 049 | 955 | 914 | 802 | 886 | 971 | 905 | 909 | 863 | 789 | 645 | 732 | 666 | 811 | 781 | 807 | 885 | -3.3% |
| H Application d'urée | 865 | 821 | 874 | 892 | 935 | 1 038 | 1 015 | 933 | 1 037 | 1 082 | 1 173 | 1 293 | 1 324 | 1 224 | 1 098 | 1 015 | 955 | 1 092 | 26% |
| I Autres engrais contenant du carbone | 125 | 115 | 155 | 162 | 173 | 179 | 181 | 176 | 170 | 168 | 161 | 158 | 163 | 150 | 153 | 164 | 163 | 145 | 16% |
| **4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture** | **-25 066** | **-31 029** | **-28 453** | **-57 779** | **-42 008** | **-43 182** | **-46 340** | **-52 184** | **-44 672** | **-41 510** | **-37 667** | **-29 846** | **-39 814** | **-36 598** | **-39 214** | **-36 430** | **-35 599** | **-38 854** | **55%** |
| A Terres forestières | -45 533 | -50 734 | -42 656 | -70 571 | -65 541 | -65 581 | -67 441 | -70 760 | -62 292 | -59 072 | -52 347 | -44 915 | -48 381 | -49 091 | -51 421 | -46 717 | -46 578 | -51 136 | 12% |
| B Terres cultivées | 27 396 | 24 399 | 16 308 | 12 860 | 20 450 | 20 194 | 18 689 | 17 487 | 16 763 | 16 313 | 14 354 | 13 708 | 12 535 | 13 746 | 11 992 | 12 009 | 11 682 | 11 781 | -57% |
| C Prairies | -5 978 | -7 212 | -3 409 | -2 926 | -1 628 | -2 183 | -2 599 | -3 810 | -3 837 | -3 637 | -4 793 | -3 243 | -8 303 | -5 831 | -5 434 | -4 951 | -4 624 | -4 430 | -26% |
| D Zones humides | 466 | 611 | 664 | 620 | 726 | 704 | 756 | 743 | 735 | 744 | 856 | 822 | 770 | 746 | 664 | 614 | 590 | 585 | 26% |
| E Zones artificialisées | 3 916 | 3 751 | 4 499 | 6 096 | 6 966 | 7 022 | 6 924 | 6 300 | 5 864 | 5 480 | 5 251 | 4 818 | 4 502 | 4 436 | 4 276 | 4 357 | 4 524 | 4 765 | 22% |
| F Autres terres | 34.6 | 48.7 | 90.4 | 94.8 | 73.1 | 64.4 | 59.9 | 57.1 | 61.3 | 58.6 | 59.2 | 59.0 | 52.9 | 46.6 | 40.7 | 39.8 | 38.5 | 41.0 | 18% |
| G Produits bois | -5 368 | -3 109 | -4 562 | -4 263 | -3 211 | -3 538 | -2 846 | -2 304 | -2 056 | -1 475 | -1 117 | -1 155 | -1 044 | -696 | 628 | -1 816 | -1 263 | -486 | -91% |
| H Autres | NA,NO | 1 217 | 614 | 310 | 156 | 136 | 119 | 104 | 90 | 79 | 69 | 60 | 52 | 46 | 40 | 35 | 30 | 26 | - |
| **5 Déchets** | **2 110** | **2 195** | **1 692** | **1 540** | **1 602** | **1 646** | **1 536** | **1 536** | **1 784** | **1 533** | **1 541** | **1 465** | **1 423** | **1 794** | **1 596** | **1 846** | **1 628** | **1 341** | **-36%** |
| C Incinération et brûlage de déchets | 2 110 | 2 195 | 1 692 | 1 540 | 1 602 | 1 646 | 1 536 | 1 536 | 1 784 | 1 533 | 1 541 | 1 465 | 1 423 | 1 794 | 1 596 | 1 846 | 1 628 | 1 341 | -36% |
| **Memo** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Soutes internationales** | **16 117** | **17 187** | **22 847** | **24 350** | **23 684** | **24 903** | **23 991** | **23 207** | **22 371** | **22 616** | **21 937** | **22 725** | **24 013** | **24 247** | **10 993** | **12 141** | **17 979** | **19 854** | **23%** |
| Aviation | 9 354 | 11 166 | 14 655 | 16 040 | 16 259 | 16 924 | 16 511 | 16 412 | 16 603 | 17 557 | 17 263 | 17 541 | 18 169 | 19 074 | 8 186 | 8 970 | 14 271 | 16 479 | 76% |
| Marine | 6 763 | 6 021 | 8 192 | 8 310 | 7 425 | 7 979 | 7 479 | 6 796 | 5 767 | 5 059 | 4 674 | 5 184 | 5 844 | 5 173 | 2 807 | 3 171 | 3 708 | 3 375 | -50% |
| **Opérations multilatérales** | **0.7** | **1.3** | **2.0** | **1.1** | **1.3** | **1.2** | **1.7** | **1.1** | **1.6** | **1.7** | **1.8** | **1.6** | **1.6** | **1.1** | **0.8** | **0.9** | **0.8** | **0.5** | **-28%** |
| **Emissions de $CO_2$ de la biomasse** | **44 063** | **45 377** | **42 980** | **48 244** | **59 757** | **52 474** | **58 373** | **63 020** | **58 219** | **61 383** | **65 205** | **64 970** | **65 183** | **65 944** | **61 235** | **67 795** | **65 242** | **67 333** | **53%** |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **$CO_2$ indirect** | **1 659** | **1 504** | **1 532** | **1 248** | **1 000** | **977** | **885** | **884** | **917** | **827** | **821** | **866** | **815** | **804** | **830** | **786** | **856** | **800** | **-52%** |

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

## Tableau 21 : Émissions de $CH_4$ en France par catégorie CRT

**FRANCE (Périmètre UE[f])**

**$CH_4$ (kt $CO_2$e)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

serre/CH4.xlsx

| secteurs CCNUCC | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart 2023/90 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total national (émissions nettes)** | **82 512** | **86 239** | **82 674** | **77 311** | **75 684** | **72 877** | **72 330** | **70 617** | **69 201** | **68 487** | **68 316** | **67 633** | **66 420** | **66 351** | **64 869** | **63 430** | **62 341** | **61 411** | **-25.6%** |
| **1 Energie** | **13 961** | **13 356** | **9 062** | **6 904** | **6 194** | **5 207** | **5 528** | **5 643** | **4 662** | **4 718** | **4 845** | **4 497** | **4 252** | **4 107** | **3 513** | **3 733** | **3 308** | **3 107** | **-77.7%** |
| **A Conso. de combustible (approche sectorielle)** | **6 556** | **6 021** | **5 102** | **4 876** | **4 474** | **3 571** | **3 929** | **4 101** | **3 285** | **3 365** | **3 465** | **3 223** | **3 037** | **2 982** | **2 565** | **2 805** | **2 431** | **2 299** | **-64.9%** |
| 1 Industries de l'énergie | 83 | 56 | 36 | 40 | 42 | 40 | 38 | 38 | 33 | 40 | 51 | 56 | 46 | 55 | 51 | 56 | 63 | 58 | -30.3% |
| 2 Industries manufacturières et construction | 108 | 111 | 93 | 112 | 131 | 107 | 110 | 116 | 110 | 116 | 124 | 120 | 126 | 122 | 119 | 126 | 131 | 127 | 16.7% |
| 3 Transport | 1 139 | 917 | 669 | 470 | 285 | 262 | 242 | 222 | 204 | 197 | 190 | 183 | 178 | 173 | 141 | 158 | 163 | 163 | -85.7% |
| 4 Autres secteurs | 5 223 | 4 936 | 4 304 | 4 249 | 4 014 | 3 158 | 3 536 | 3 722 | 2 935 | 3 009 | 3 097 | 2 862 | 2 685 | 2 629 | 2 252 | 2 463 | 2 071 | 1 949 | -62.7% |
| 5 Autre | 3.6 | 1.0 | 1.1 | 4.6 | 3.5 | 4.0 | 3.6 | 3.4 | 3.2 | 3.2 | 2.1 | 1.9 | 2.2 | 2.2 | 1.9 | 2.6 | 2.7 | 3.1 | -14.1% |
| **B Emissions fugitives des combustibles** | **7 405** | **7 335** | **3 960** | **2 028** | **1 720** | **1 636** | **1 598** | **1 542** | **1 377** | **1 354** | **1 380** | **1 274** | **1 215** | **1 125** | **948** | **928** | **877** | **808** | **-89.1%** |
| 1 Combustibles solides | 5 387 | 5 519 | 2 270 | 436 | 59 | 36 | 18 | 22 | 15 | 17 | 18 | 19 | 20 | 13 | 22 | 10 | 11 | 12 | -99.8% |
| 2 Combustibles liquides et gazeux | 2 017 | 1 816 | 1 691 | 1 592 | 1 661 | 1 600 | 1 580 | 1 520 | 1 362 | 1 337 | 1 362 | 1 256 | 1 195 | 1 112 | 926 | 918 | 866 | 796 | -60.6% |
| **2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits** | **285** | **286** | **307** | **236** | **165** | **141** | **114** | **101** | **105** | **95** | **97** | **88** | **79** | **75** | **64** | **73** | **60** | **52** | **-81.7%** |
| B Chimie | 125 | 142 | 157 | 110 | 89 | 58 | 49 | 50 | 59 | 53 | 49 | 47 | 42 | 39 | 35 | 34 | 35 | 31 | -74.9% |
| C Métallurgie | 157.8 | 142.3 | 149.4 | 125.5 | 75.2 | 82.8 | 64.4 | 50.6 | 45.9 | 41.8 | 48.2 | 41.1 | 37.1 | 35.8 | 28.7 | 38.7 | 24.7 | 20.4 | -87.1% |
| D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvant | 1.7 | 1.5 | 1.1 | 0.8 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | -82.1% |
| **3 Agriculture** | **53 694** | **52 135** | **53 365** | **50 148** | **50 045** | **49 279** | **48 701** | **48 689** | **49 256** | **49 337** | **48 957** | **48 510** | **47 786** | **46 994** | **46 211** | **45 113** | **44 140** | **43 329** | **-19.3%** |
| A Fermentation entérique | 46 750 | 44 909 | 45 444 | 42 092 | 41 955 | 41 263 | 40 852 | 40 965 | 41 485 | 41 596 | 41 297 | 40 927 | 40 289 | 39 639 | 38 987 | 38 074 | 37 361 | 36 841 | -21.2% |
| B Gestion des déjections animales | 6 791 | 7 043 | 7 749 | 7 920 | 7 963 | 7 889 | 7 728 | 7 615 | 7 677 | 7 651 | 7 575 | 7 498 | 7 429 | 7 283 | 7 157 | 6 979 | 6 722 | 6 428 | -5.3% |
| C Rizières | 76 | 107 | 90 | 83 | 80 | 81 | 78 | 71 | 58 | 56 | 57 | 59 | 47 | 53 | 52 | 45 | 43 | 44 | -42.2% |
| F Incinération des résidus de culture | 77 | 76 | 83 | 54 | 47 | 45 | 43 | 37 | 36 | 34 | 27 | 27 | 21 | 19 | 15 | 15 | 14 | 15 | -80.8% |
| **4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture** | **636** | **3 536** | **1 293** | **863** | **795** | **789** | **781** | **720** | **741** | **741** | **738** | **743** | **719** | **695** | **675** | **675** | **780** | **665** | **4.6%** |
| A Terres forestières | 182 | 98 | 107 | 94 | 77 | 83 | 82 | 49 | 72 | 78 | 80 | 84 | 62 | 84 | 71 | 70 | 181 | 59 | -67.4% |
| B Terres cultivées | 196 | 196 | 178 | 154 | 173 | 177 | 181 | 181 | 182 | 183 | 183 | 186 | 187 | 182 | 180 | 180 | 178 | 180 | -8.5% |
| C Prairies | 210 | 173 | 185 | 210 | 222 | 212 | 207 | 184 | 184 | 180 | 178 | 181 | 181 | 137 | 133 | 134 | 131 | 136 | -35.2% |
| D Zones humides | 5.9 | 6.0 | 6.3 | 5.8 | 7.8 | 8.0 | 8.3 | 8.2 | 8.2 | 8.3 | 8.7 | 8.7 | 8.4 | 8.2 | 7.2 | 6.6 | 6.4 | 6.6 | 11.2% |
| E Zones artificialisées | 42 | 42 | 47 | 55 | 52 | 51 | 50 | 47 | 46 | 43 | 41 | 38 | 36 | 39 | 39 | 39 | 40 | 40 | -5.5% |
| F Autres terres | 0.1 | 0.3 | 0.9 | 0.9 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | -41.5% |
| H Autres | NA,NO | 3 021 | 769 | 343 | 262 | 257 | 253 | 251 | 249 | 247 | 246 | 246 | 245 | 245 | 244 | 244 | 244 | 244 | - |
| **5 Déchets** | **13 936** | **16 925** | **18 646** | **19 161** | **18 485** | **17 462** | **17 206** | **15 464** | **14 438** | **13 595** | **13 679** | **13 794** | **13 584** | **14 480** | **14 407** | **13 837** | **14 053** | **14 259** | **2.3%** |
| A Installations de stockage de déchets non dangereux | 12 457 | 15 066 | 16 384 | 16 812 | 16 004 | 14 879 | 14 522 | 12 756 | 11 738 | 10 889 | 10 960 | 11 026 | 10 744 | 11 666 | 11 668 | 11 142 | 11 462 | 11 667 | -6.3% |
| B Traitement biologiques des déchets solides (compostage, méthanisat | 112 | 155 | 316 | 428 | 506 | 610 | 714 | 747 | 781 | 795 | 809 | 839 | 866 | 833 | 792 | 731 | 654 | 654 | 482.4% |
| C Incinération et brûlage de déchets | 54 | 57 | 61 | 65 | 82 | 84 | 89 | 93 | 106 | 87 | 85 | 77 | 83 | 91 | 71 | 88 | 63 | 63 | 17.6% |
| D Traitement des eaux et rejets | 1 313 | 1 648 | 1 884 | 1 856 | 1 892 | 1 889 | 1 882 | 1 867 | 1 813 | 1 824 | 1 825 | 1 852 | 1 891 | 1 890 | 1 876 | 1 875 | 1 874 | 1 874 | 42.7% |
| **Memo** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Soutes internationales** | **22** | **18** | **23** | **23** | **21** | **22** | **21** | **19** | **16** | **15** | **14** | **15** | **17** | **15** | **8** | **9** | **11** | **10** | **-53.5%** |
| Aviation | 4.6 | 2.6 | 2.2 | 1.9 | 1.9 | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 1.9 | 1.9 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 0.8 | 1.0 | 1.5 | 1.6 | -66.1% |
| Marine | 17 | 15 | 21 | 21 | 19 | 20 | 19 | 17 | 15 | 13 | 12 | 13 | 15 | 13 | 7 | 8 | 9 | 9 | -50% |

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

## Tableau 22 : Émissions de $N_2O$ en France par catégorie CRT

**FRANCE (Périmètre UE[f])** **$N_2O$ (kt $CO_2e$)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 serre/N2O.xlsx

| secteurs CCNUCC | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart 2023/90 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total national (émissions nettes)** | **55 793** | **55 700** | **44 743** | **38 922** | **33 329** | **32 714** | **32 598** | **31 848** | **32 821** | **32 569** | **31 744** | **32 787** | **31 674** | **30 619** | **29 396** | **29 852** | **27 898** | **27 749** | **-50%** |
| **1 Energie** | **3 025** | **3 556** | **3 465** | **3 721** | **3 244** | **3 203** | **3 297** | **3 417** | **3 324** | **3 387** | **3 390** | **3 374** | **3 248** | **3 202** | **3 029** | **3 141** | **3 076** | **2 986** | **-1.3%** |
| **A Conso. de combustible (approche sectorielle)** | **3 001** | **3 533** | **3 438** | **3 685** | **3 211** | **3 185** | **3 283** | **3 405** | **3 311** | **3 375** | **3 377** | **3 362** | **3 236** | **3 191** | **3 020** | **3 133** | **3 070** | **2 979** | **-0.7%** |
| 1 Industries de l'énergie | 399 | 380 | 479 | 525 | 396 | 292 | 327 | 296 | 228 | 233 | 267 | 294 | 231 | 227 | 214 | 195 | 200 | 184 | -54% |
| 2 Industries manufacturières et construction | 425 | 394 | 424 | 564 | 371 | 465 | 471 | 482 | 473 | 478 | 480 | 483 | 484 | 487 | 475 | 495 | 498 | 486 | 15% |
| 3 Transport | 838 | 1 444 | 1 235 | 1 268 | 1 122 | 1 171 | 1 211 | 1 251 | 1 296 | 1 332 | 1 346 | 1 342 | 1 289 | 1 265 | 1 051 | 1 151 | 1 171 | 1 109 | 32% |
| 4 Autres secteurs | 1 308 | 1 312 | 1 287 | 1 314 | 1 310 | 1 243 | 1 263 | 1 363 | 1 302 | 1 321 | 1 277 | 1 236 | 1 224 | 1 205 | 1 272 | 1 281 | 1 190 | 1 189 | -9.1% |
| 5 Autre | 31.3 | 3.6 | 13.6 | 13.5 | 12.2 | 14.5 | 12.3 | 12.3 | 11.7 | 11.1 | 7.5 | 7.6 | 8.1 | 8.0 | 7.2 | 10.9 | 11.0 | 11.1 | -65% |
| **B Emissions fugitives des combustibles** | **23** | **23** | **27** | **36** | **34** | **17** | **14** | **13** | **13** | **12** | **12** | **12** | **12** | **11** | **9.2** | **7.3** | **6.6** | **7.1** | -70% |
| 2 Combustibles liquides et gazeux | 23 | 23 | 27 | 36 | 34 | 17 | 14 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 9.2 | 7.3 | 6.6 | 7.1 | -70% |
| **2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits** | **21 299** | **22 911** | **10 472** | **6 015** | **2 035** | **1 237** | **916** | **901** | **1 066** | **1 160** | **924** | **1 484** | **983** | **828** | **676** | **533** | **511** | **411** | **-98%** |
| B Chimie | 21 187 | 22 796 | 10 356 | 5 899 | 1 917 | 1 115 | 790 | 772 | 934 | 1 030 | 794 | 1 356 | 855 | 696 | 539 | 397 | 375 | 277 | -99% |
| D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvant | 1.2 | 2.2 | 2.0 | 2.2 | 1.9 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.1 | 69% |
| G Autres fabrication et utilisations de produits | 111 | 112 | 114 | 114 | 116 | 120 | 124 | 127 | 130 | 128 | 127 | 126 | 126 | 129 | 135 | 134 | 134 | 132 | 19% |
| **3 Agriculture** | **26 894** | **25 027** | **26 896** | **25 215** | **23 791** | **24 058** | **24 303** | **23 617** | **24 561** | **24 112** | **23 608** | **24 163** | **23 745** | **22 987** | **22 170** | **22 633** | **20 792** | **20 941** | **-22%** |
| B Gestion des déjections animales | 3 854 | 3 720 | 3 697 | 3 388 | 3 353 | 3 296 | 3 257 | 3 241 | 3 259 | 3 255 | 3 221 | 3 162 | 3 116 | 3 043 | 2 992 | 2 915 | 2 838 | 2 770 | -28% |
| D Sols agricoles | 23 020 | 21 288 | 23 179 | 21 814 | 20 426 | 20 751 | 21 035 | 20 366 | 21 294 | 20 848 | 20 379 | 20 994 | 20 623 | 19 940 | 19 174 | 19 714 | 17 950 | 18 168 | -21% |
| F Incinération des résidus de culture | 19 | 19 | 20 | 13 | 12 | 11 | 11 | 9.1 | 8.7 | 8.3 | 6.7 | 6.6 | 5.2 | 4.7 | 3.7 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | -81% |
| **4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture** | **2 066** | **1 688** | **1 346** | **1 385** | **1 425** | **1 375** | **1 304** | **1 217** | **1 159** | **1 111** | **1 060** | **1 000** | **938** | **879** | **797** | **796** | **848** | **808** | **-61%** |
| A Terres forestières | 92 | 49 | 54 | 47 | 36 | 37 | 37 | 25 | 33 | 36 | 39 | 44 | 31 | 41 | 36 | 36 | 94 | 31 | -67% |
| B Terres cultivées | 1 724 | 1 401 | 1 008 | 965 | 954 | 906 | 841 | 803 | 768 | 735 | 688 | 636 | 602 | 564 | 503 | 495 | 475 | 477 | -72% |
| C Prairies | 63 | 64 | 71 | 80 | 83 | 69 | 63 | 59 | 60 | 59 | 61 | 62 | 62 | 59 | 58 | 58 | 56 | 57 | -9.4% |
| D Zones humides | 2.2 | 6.6 | 13.6 | 14.1 | 17.2 | 18.5 | 20.9 | 22.0 | 23.1 | 24.3 | 27.5 | 29.6 | 30.1 | 30.3 | 29.8 | 29.3 | 28.9 | 28.0 | 1150% |
| E Zones artificialisées | 182 | 165 | 197 | 276 | 331 | 341 | 339 | 304 | 272 | 253 | 241 | 224 | 208 | 181 | 166 | 174 | 190 | 213 | 17% |
| F Autres terres | 2.3 | 2.1 | 2.7 | 3.1 | 3.6 | 3.7 | 3.8 | 3.9 | 4.0 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.8 | 3.6 | 3.3 | 3.3 | 3.2 | 3.1 | 37% |
| **5 Déchets** | **2 511** | **2 519** | **2 565** | **2 586** | **2 834** | **2 841** | **2 778** | **2 696** | **2 712** | **2 799** | **2 763** | **2 766** | **2 761** | **2 723** | **2 724** | **2 749** | **2 670** | **2 603** | **3.7%** |
| B Traitement biologiques des déchets solides (compostage, méthanisat | 61 | 73 | 99 | 118 | 139 | 159 | 179 | 186 | 191 | 198 | 202 | 209 | 214 | 210 | 208 | 189 | 178 | 178 | 193% |
| C Incinération et brûlage de déchets | 151 | 151 | 129 | 113 | 103 | 94 | 99 | 71 | 77 | 89 | 69 | 66 | 63 | 90 | 91 | 84 | 71 | 70 | -53% |
| D Traitement des eaux et rejets | 2 299 | 2 295 | 2 336 | 2 354 | 2 592 | 2 588 | 2 501 | 2 439 | 2 443 | 2 512 | 2 492 | 2 491 | 2 483 | 2 424 | 2 426 | 2 476 | 2 421 | 2 355 | 2.4% |
| **Memo** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Soutes internationales** | **114** | **122** | **162** | **172** | **168** | **176** | **170** | **165** | **159** | **161** | **156** | **162** | **171** | **173** | **78** | **86** | **128** | **142** | 25% |
| Aviation | 67 | 81 | 106 | 116 | 117 | 122 | 119 | 118 | 120 | 127 | 124 | 127 | 131 | 138 | 59 | 65 | 103 | 119 | 76% |
| Marine | 46 | 41 | 56 | 57 | 51 | 54 | 51 | 46 | 39 | 35 | 32 | 35 | 40 | 35 | 19 | 22 | 25 | 23 | -50% |

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

### Tableau 23 : Émissions de HFC en France par catégorie CRT

**FRANCE (Périmètre UE[f])**

**HFCs (kt $CO_2$e)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

serre/HFCs.xlsx

| secteurs CCNUCC | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart 2023/90 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total national (émissions nettes)** | **4 226** | **1 510** | **6 081** | **12 590** | **17 141** | **17 862** | **18 073** | **17 952** | **17 806** | **17 613** | **17 257** | **16 620** | **14 935** | **12 919** | **11 434** | **10 165** | **9 157** | **8 391** | **99%** |
| **2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits** | **4 226** | **1 510** | **6 081** | **12 590** | **17 141** | **17 862** | **18 073** | **17 952** | **17 806** | **17 613** | **17 257** | **16 620** | **14 935** | **12 919** | **11 434** | **10 165** | **9 157** | **8 391** | **99%** |
| B Chimie | 4 202 | 605 | 616 | 739 | 188 | 116 | 132 | 114 | 134 | 192 | 259 | 264 | 132 | 116 | 86 | 35 | 26 | 19 | -100% |
| E Industrie électronique | 24 | 14 | 21 | 15 | 10.1 | 15.0 | 8.9 | 5.4 | 3.0 | 2.7 | 2.3 | 6.4 | 7.6 | 6.1 | 5.5 | 5.6 | 2.3 | 1.0 | -96% |
| F Consommation d'halocarbures | IE,NO | 891 | 5 443 | 11 835 | 16 944 | 17 732 | 17 932 | 17 832 | 17 668 | 17 418 | 16 995 | 16 349 | 14 795 | 12 796 | 11 342 | 10 123 | 9 128 | 8 370 | - |
| G Autres fabrication et utilisations de produits | NO | NO | NO | NO | NO | NO | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.6 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | - |

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

### Tableau 24 : Émissions de PFC en France par catégorie CRT

**FRANCE (Périmètre UE[f])**

**PFCs (kt $CO_2$e)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

serre/PFCs.xls

| secteurs CCNUCC | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart 2023/90 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total national (émissions nettes)** | **4 685** | **2 757** | **2 700** | **1 573** | **540** | **676** | **688** | **582** | **535** | **465** | **580** | **613** | **590** | **538** | **472** | **390** | **323** | **219** | **-95%** |
| **2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits** | **4 685** | **2 757** | **2 700** | **1 573** | **540** | **676** | **688** | **582** | **535** | **465** | **580** | **613** | **590** | **538** | **472** | **390** | **323** | **219** | **-95%** |
| B Chimie | 1 084 | 289 | 310 | 229 | 11 | 3.5 | 2.9 | 2.9 | 2.4 | 2.2 | 1.9 | 2.8 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | - |
| C Métallurgie | 3 211 | 1 894 | 1 731 | 747 | 47 | 88 | 120 | 88 | 73 | 56 | 98 | 37 | 58 | 60 | 55 | 38 | 33 | 20 | -99% |
| E Industrie électronique | 184 | 279 | 529 | 324 | 155 | 176 | 112 | 71 | 77 | 63 | 88 | 101 | 77 | 78 | 70 | 58 | 67 | 37 | -80% |
| G Autres fabrication et utilisations de produits | 206 | 295 | 130 | 273 | 326 | 408 | 453 | 420 | 382 | 344 | 392 | 472 | 455 | 400 | 347 | 294 | 223 | 162 | -21.5% |

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

### Tableau 25 : Émissions de $SF_6$ en France par catégorie CRT

**FRANCE (Périmètre UE[f])** — **$SF_6$ (kt $CO_2$e)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — serre/SF6.xlsx

| secteurs CCNUCC | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart 2023/90 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total national (émissions nettes)** | **2 233** | **2 557** | **2 247** | **1 396** | **975** | **761** | **763** | **699** | **599** | **631** | **657** | **611** | **584** | **530** | **522** | **541** | **469** | **381** | **-83%** |
| **2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits** | **2 233** | **2 557** | **2 247** | **1 396** | **975** | **761** | **763** | **699** | **599** | **631** | **657** | **611** | **584** | **530** | **522** | **541** | **469** | **381** | **-83%** |
| B Chimie | 134 | 134 | 141 | 115 | 73 | 90 | 88 | 97 | 110 | 117 | 135 | 137 | 138 | 134 | 159 | 166 | 118 | 70 | -48% |
| C Métallurgie | 743 | 828 | 762 | 355 | 197 | 83 | 101 | 90 | 53 | 39 | 62 | 55 | 59 | 31 | 7.9 | 7.9 | 4.1 | 2.0 | -100% |
| E Industrie électronique | 57 | 57 | 67 | 36 | 5.1 | 5.6 | 4.7 | 4.7 | 2.0 | 2.4 | 2.2 | 4.0 | 3.6 | 3.5 | 4.2 | 4.7 | 4.5 | 4.3 | -92% |
| G Autres fabrication et utilisations de produits | 1 299 | 1 539 | 1 278 | 890 | 700 | 583 | 569 | 507 | 434 | 472 | 458 | 415 | 383 | 362 | 350 | 362 | 343 | 304 | -77% |

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

### Tableau 26 : Émissions de $NF_3$ en France par catégorie CRT

**FRANCE (Périmètre UE[f])** — **$NF_3$ (kt $CO_2$e)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — serre/NF3.xlsx

| secteurs CCNUCC | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart 2023/90 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total national (émissions nettes)** | **15** | **5.9** | **19** | **29** | **30** | **29** | **19** | **10** | **6.0** | **5.8** | **5.5** | **13.1** | **11.7** | **9.9** | **8.2** | **11.6** | **13.0** | **11.6** | **-25%** |
| **2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits** | **15** | **5.9** | **19** | **29** | **30** | **29** | **19** | **10** | **6.0** | **5.8** | **5.5** | **13.1** | **11.7** | **9.9** | **8.2** | **11.6** | **13.0** | **11.6** | **-25%** |
| E Industrie électronique | 15 | 5.9 | 19 | 29 | 30 | 29 | 19 | 10 | 6.0 | 5.8 | 5.5 | 13.1 | 11.7 | 9.9 | 8.2 | 11.6 | 13.0 | 11.6 | -25% |

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

## Tableau 27 : Émissions de $SO_2$ en France par catégorie CRT

**FRANCE (Périmètre UE[f])** **$SO_2$ (kt)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 serre/SO2.xlsx

| secteurs CCNUCC | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart 2023/90 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total national (émissions nettes)** | **1 329** | **977** | **653** | **488** | **290** | **246** | **247** | **228** | **178** | **170** | **152** | **146** | **140** | **115** | **100** | **107** | **99** | **89** | **-93%** |
| **1 Energie** | **1 296** | **952** | **627** | **469** | **278** | **235** | **236** | **217** | **166** | **159** | **140** | **134** | **129** | **105** | **90** | **97** | **89** | **80** | **-94%** |
| **A Conso. de combustible (approche sectorielle)** | **1 200** | **882** | **551** | **406** | **241** | **198** | **210** | **193** | **146** | **138** | **121** | **118** | **112** | **92** | **80** | **89** | **82** | **73** | **-94%** |
| 1 Industries de l'énergie | 502 | 380 | 260 | 203 | 110 | 86 | 105 | 92 | 60 | 50 | 40 | 41 | 37 | 28 | 22 | 26 | 25 | 20 | -96% |
| 2 Industries manufacturières et construction | 358 | 281 | 170 | 118 | 89 | 77 | 69 | 64 | 58 | 60 | 56 | 53 | 51 | 44 | 44 | 47 | 43 | 40 | -89% |
| 3 Transport | 171 | 139 | 40 | 14 | 6.5 | 7.7 | 9.9 | 10.3 | 9.5 | 9.4 | 7.3 | 7.3 | 7.9 | 6.8 | 2.5 | 3.0 | 3.3 | 2.9 | -98% |
| 4 Autres secteurs | 167 | 81 | 80 | 69 | 34 | 27 | 25 | 25 | 18 | 18 | 17 | 16 | 15 | 13 | 11 | 12 | 10 | 9 | -94% |
| 5 Autre | 2.6 | 1.0 | 1.2 | 2.1 | 1.1 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | -71% |
| **B Emissions fugitives des combustibles** | **96** | **70** | **76** | **62** | **37** | **37** | **26** | **24** | **19** | **20** | **19** | **16** | **18** | **12** | **10** | **8.3** | **6.8** | **7.9** | **-92%** |
| 2 Combustibles liquides et gazeux | 96 | 70 | 76 | 62 | 37 | 37 | 26 | 24 | 19 | 20 | 19 | 16 | 18 | 12 | 10 | 8.3 | 6.8 | 7.9 | -92% |
| **2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits** | **28.9** | **21.7** | **25.0** | **17.9** | **10.3** | **10.6** | **10.1** | **9.9** | **11.3** | **11.2** | **11.9** | **11.2** | **10.1** | **9.4** | **9.0** | **9.8** | **8.9** | **8.3** | **-71%** |
| B Chimie | 21 | 13 | 14 | 8 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | -87% |
| C Métallurgie | 5.3 | 5.9 | 8.3 | 7.6 | 4.5 | 4.7 | 5.1 | 4.9 | 6.1 | 6.7 | 6.4 | 6.4 | 6.0 | 5.8 | 5.8 | 5.9 | 5.8 | 5.0 | -5.3% |
| D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvant | 0.211 | 0.180 | 0.039 | 0.009 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | -99% |
| H Autre | 2.6 | 3.0 | 3.1 | 2.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | -75% |
| **3 Agriculture** | **0.4** | **0.4** | **0.4** | **0.3** | **0.2** | **0.2** | **0.2** | **0.2** | **0.2** | **0.2** | **0.1** | **0.1** | **0.1** | **0.1** | **0.1** | **0.1** | **0.1** | **0.1** | -82% |
| F Incinération des résidus de culture | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | -82% |
| **4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture** | **0.8** | **0.3** | **0.2** | **0.2** | **0.1** | **0.1** | **0.1** | **0.0** | **0.1** | **0.1** | **0.1** | **0.2** | **0.0** | **0.2** | **0.1** | **0.1** | **1.1** | **0.1** | **-94%** |
| H Autres | 0.8 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 1.1 | 0.1 | -94% |
| C Incinération et brûlage de déchets | 3.5 | 2.9 | 1.1 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | -91% |
| **Memo** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Soutes internationales** | **129** | **105** | **140** | **147** | **89** | **96** | **129** | **118** | **99** | **86** | **80** | **89** | **102** | **91** | **11** | **12** | **16** | **15** | **-88%** |
| Aviation | 3.0 | 3.5 | 4.6 | 5.1 | 5.1 | 5.4 | 5.2 | 5.2 | 5.3 | 5.6 | 5.5 | 5.6 | 5.7 | 6.0 | 2.6 | 2.8 | 4.5 | 5.2 | 76% |
| Marine | 126 | 102 | 135 | 142 | 84 | 91 | 123 | 112 | 94 | 80 | 75 | 83 | 96 | 85 | 8 | 9 | 11 | 10 | -92% |

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

### Tableau 28 : Émissions de $NO_x$ en France par catégorie CRT

**FRANCE (Périmètre UE[f])** **$NO_x$ (kt)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 serre/NOX.xlsx

| secteurs CCNUCC | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart 2023/90 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total national (émissions nettes)** | **2 194** | **2 024** | **1 884** | **1 663** | **1 311** | **1 255** | **1 226** | **1 200** | **1 102** | **1 069** | **1 018** | **985** | **930** | **864** | **751** | **786** | **749** | **685** | **-69%** |
| **1 Energie** | **1 976** | **1 832** | **1 684** | **1 477** | **1 144** | **1 085** | **1 057** | **1 035** | **933** | **898** | **848** | **815** | **761** | **700** | **594** | **631** | **600** | **544** | **-72%** |
| **A Conso. de combustible (approche sectorielle)** | **1 971** | **1 827** | **1 679** | **1 472** | **1 139** | **1 080** | **1 053** | **1 032** | **930** | **895** | **845** | **812** | **758** | **698** | **592** | **630** | **599** | **542** | **-72%** |
| 1 Industries de l'énergie | 176 | 156 | 181 | 194 | 132 | 115 | 117 | 114 | 73 | 64 | 59 | 65 | 58 | 47 | 40 | 42 | 40 | 40 | -77% |
| 2 Industries manufacturières et construction | 203 | 188 | 180 | 178 | 123 | 124 | 119 | 118 | 109 | 106 | 102 | 100 | 96 | 91 | 87 | 90 | 86 | 77 | -62% |
| 3 Transport | 1 287 | 1 198 | 1 024 | 821 | 657 | 640 | 617 | 602 | 572 | 558 | 532 | 501 | 467 | 433 | 341 | 374 | 361 | 325 | -75% |
| 4 Autres secteurs | 284 | 283 | 286 | 270 | 219 | 192 | 191 | 190 | 168 | 161 | 147 | 142 | 131 | 122 | 119 | 118 | 105 | 92 | -67% |
| 5 Autre | 21.1 | 2.4 | 8.2 | 8.6 | 8.1 | 9.4 | 8.0 | 7.9 | 7.6 | 7.2 | 4.9 | 4.9 | 5.3 | 5.2 | 4.8 | 7.3 | 7.4 | 7.5 | -64% |
| **B Emissions fugitives des combustibles** | **5.0** | **5.1** | **5.4** | **5.2** | **4.9** | **4.7** | **4.0** | **2.8** | **2.8** | **2.8** | **2.8** | **2.5** | **2.5** | **1.9** | **1.8** | **1.1** | **1.3** | **1.5** | **-71%** |
| 2 Combustibles liquides et gazeux | 5.0 | 5.1 | 5.4 | 5.2 | 4.9 | 4.7 | 4.0 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.5 | 2.5 | 1.9 | 1.8 | 1.1 | 1.3 | 1.5 | -71% |
| **2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits** | **26** | **16** | **16** | **14** | **8.4** | **7.8** | **7.7** | **8.3** | **8.0** | **8.1** | **7.9** | **7.7** | **7.5** | **7.4** | **6.6** | **7.0** | **5.3** | **5.0** | **-80%** |
| B Chimie | 22 | 13 | 12 | 10.6 | 6.0 | 5.8 | 5.7 | 5.9 | 6.0 | 6.1 | 5.8 | 5.9 | 5.7 | 5.7 | 5.2 | 5.5 | 3.8 | 3.6 | -84% |
| C Métallurgie | 1.5 | 1.7 | 2.2 | 1.9 | 1.2 | 0.8 | 0.8 | 1.3 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | -59% |
| D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvant | 2.0 | 1.9 | 1.5 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | -62% |
| H Autre | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | -63% |
| **3 Agriculture** | **175** | **160** | **171** | **161** | **148** | **152** | **150** | **147** | **151** | **152** | **152** | **152** | **152** | **146** | **141** | **138** | **131** | **128** | **-27%** |
| D Sols agricoles | 171 | 156 | 166 | 157 | 146 | 149 | 148 | 144 | 148 | 150 | 150 | 151 | 151 | 145 | 140 | 137 | 130 | 126 | -26% |
| F Incinération des résidus de culture | 4.6 | 4.5 | 4.7 | 3.8 | 3.0 | 2.8 | 2.6 | 2.4 | 2.2 | 2.1 | 1.8 | 1.7 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | -75% |
| **4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture** | **10.3** | **8.2** | **8.0** | **7.7** | **7.6** | **7.5** | **7.5** | **6.8** | **7.0** | **7.1** | **7.4** | **7.8** | **7.2** | **7.1** | **6.8** | **6.9** | **9.3** | **6.6** | **-36%** |
| A Terres forestières | 3.8 | 1.9 | 2.1 | 1.8 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.0 | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 1.8 | 1.2 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 4.0 | 1.3 | -67% |
| B Terres cultivées | 2.8 | 2.9 | 2.6 | 2.3 | 2.5 | 2.5 | 2.6 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | -13% |
| C Prairies | 3.2 | 3.0 | 2.9 | 3.1 | 3.2 | 3.1 | 3.1 | 2.8 | 2.9 | 2.8 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.5 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | -24% |
| D Zones humides | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 11% |
| E Zones artificialisées | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | -5.5% |
| F Autres terres | 0.001 | 0.003 | 0.008 | 0.008 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | -42% |
| **5 Déchets** | **7.0** | **7.0** | **5.0** | **4.1** | **3.2** | **3.1** | **3.2** | **2.8** | **3.2** | **2.8** | **2.6** | **2.5** | **2.6** | **2.9** | **2.6** | **2.8** | **2.6** | **2.4** | **-66%** |
| C Incinération et brûlage de déchets | 7.0 | 7.0 | 5.0 | 4.1 | 3.2 | 3.1 | 3.2 | 2.8 | 3.2 | 2.8 | 2.6 | 2.5 | 2.6 | 2.9 | 2.6 | 2.8 | 2.6 | 2.4 | -66% |
| **Memo** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Soutes internationales** | **199** | **186** | **255** | **263** | **242** | **256** | **244** | **230** | **208** | **194** | **186** | **199** | **216** | **205** | **98** | **111** | **149** | **153** | **-23%** |
| Aviation | 39 | 45 | 62 | 73 | 77 | 80 | 80 | 82 | 84 | 86 | 87 | 89 | 93 | 97 | 40 | 46 | 73 | 85 | 120% |
| Marine | 160 | 142 | 194 | 190 | 165 | 176 | 164 | 148 | 125 | 108 | 99 | 109 | 123 | 108 | 58 | 65 | 76 | 68 | -57% |

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

## Tableau 29 : Émissions de COVNM en France par catégorie CRT

**FRANCE (Périmètre UE[f])** **COVNM (kt)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 serre/COVNM.xlsx

| secteurs CCNUCC | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart 2023/90 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total national (émissions nettes)** | **4 057** | **3 702** | **3 322** | **3 042** | **2 647** | **2 632** | **2 558** | **2 576** | **2 531** | **2 586** | **2 527** | **2 579** | **2 655** | **2 551** | **2 492** | **2 288** | **2 700** | **2 534** | **-38%** |
| **1 Energie** | **1 683** | **1 356** | **1 005** | **766** | **595** | **494** | **513** | **516** | **428** | **426** | **424** | **390** | **362** | **345** | **289** | **305** | **265** | **251** | **-85%** |
| **A Conso. de combustible (approche sectorielle)** | **1 494** | **1 241** | **928** | **719** | **563** | **464** | **485** | **491** | **405** | **403** | **401** | **368** | **340** | **324** | **272** | **288** | **247** | **231** | **-85%** |
| 1 Industries de l'énergie | 7.9 | 6.2 | 4.0 | 4.0 | 3.3 | 3.3 | 3.4 | 3.3 | 3.1 | 3.5 | 3.8 | 3.6 | 3.1 | 3.1 | 3.0 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | -60% |
| 2 Industries manufacturières et construction | 18 | 17 | 17 | 17 | 10 | 12 | 10 | 10 | 10 | 8.9 | 8.6 | 8.8 | 8.6 | 8.3 | 7.8 | 8.4 | 8.0 | 7.5 | -59% |
| 3 Transport | 935 | 714 | 458 | 254 | 137 | 123 | 112 | 103 | 94 | 89 | 83 | 76 | 69 | 61 | 49 | 48 | 47 | 45 | -95% |
| 4 Autres secteurs | 530 | 502 | 448 | 444 | 412 | 326 | 359 | 374 | 297 | 301 | 306 | 279 | 259 | 250 | 212 | 228 | 189 | 176 | -67% |
| 5 Autre | 2.4 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | -78% |
| **B Emissions fugitives des combustibles** | **189** | **115** | **77** | **47** | **32** | **31** | **27** | **25** | **24** | **23** | **23** | **22** | **22** | **22** | **17** | **17** | **19** | **20** | -90% |
| 1 Combustibles solides | 33 | 22 | 9.0 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | -100% |
| 2 Combustibles liquides et gazeux | 156 | 93 | 68 | 46 | 32 | 30 | 27 | 25 | 24 | 23 | 23 | 22 | 22 | 22 | 17 | 17 | 18 | 20 | -87% |
| **2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits** | **761** | **680** | **684** | **562** | **464** | **449** | **412** | **411** | **427** | **395** | **390** | **410** | **391** | **384** | **401** | **379** | **408** | **380** | **-50%** |
| B Chimie | 43 | 43 | 46 | 36 | 22 | 18 | 18 | 16 | 17 | 20 | 16 | 16 | 15 | 14 | 13 | 13 | 12 | 11 | -75% |
| C Métallurgie | 1.6 | 1.6 | 2.0 | 1.7 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.3 | 1.4 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 0.9 | -40% |
| D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvant | 413 | 342 | 324 | 265 | 149 | 159 | 146 | 140 | 132 | 121 | 121 | 122 | 116 | 118 | 99 | 110 | 112 | 109 | -74% |
| G Autres fabrication et utilisations de produits | 268 | 260 | 277 | 221 | 255 | 232 | 208 | 214 | 237 | 213 | 211 | 228 | 216 | 207 | 247 | 212 | 239 | 216 | -19% |
| H Autre | 36 | 34 | 35 | 37 | 38 | 40 | 39 | 39 | 39 | 40 | 41 | 43 | 43 | 43 | 41 | 44 | 43 | 43 | 21% |
| **3 Agriculture** | **450** | **452** | **443** | **429** | **421** | **430** | **422** | **424** | **432** | **438** | **435** | **438** | **444** | **433** | **430** | **407** | **432** | **421** | **-6.4%** |
| B Gestion des déjections animales | 256 | 249 | 250 | 234 | 241 | 241 | 240 | 240 | 245 | 247 | 245 | 244 | 242 | 238 | 235 | 229 | 224 | 219 | -14% |
| D Sols agricoles | 192 | 201 | 190 | 193 | 179 | 187 | 180 | 182 | 186 | 189 | 189 | 194 | 202 | 194 | 194 | 177 | 208 | 201 | 5.0% |
| F Incinération des résidus de culture | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 2.2 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.1 | 1.1 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | -74% |
| **4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture** | **1 153** | **1 201** | **1 178** | **1 273** | **1 152** | **1 244** | **1 197** | **1 211** | **1 227** | **1 313** | **1 265** | **1 328** | **1 446** | **1 375** | **1 361** | **1 182** | **1 584** | **1 471** | **28%** |
| A Terres forestières | 9.1 | 3.1 | 2.9 | 2.7 | 1.3 | 1.3 | 1.4 | 0.4 | 0.6 | 1.7 | 1.5 | 2.4 | 0.5 | 2.2 | 1.6 | 1.4 | 13.4 | 0.6 | -94% |
| H Autres | 1 143 | 1 198 | 1 175 | 1 270 | 1 151 | 1 243 | 1 195 | 1 210 | 1 227 | 1 311 | 1 263 | 1 325 | 1 445 | 1 373 | 1 359 | 1 181 | 1 570 | 1 470 | 29% |
| **5 Déchets** | **11** | **12** | **12** | **13** | **15** | **14** | **15** | **15** | **16** | **13** | **13** | **12** | **13** | **14** | **12** | **13** | **11** | **11** | **3%** |
| A Installations de stockage de déchets non dangereux | 4.4 | 5.4 | 5.9 | 6.0 | 5.7 | 5.3 | 5.2 | 4.6 | 4.2 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.8 | 4.2 | 4.2 | 4.0 | 4.1 | 4.2 | -6.3% |
| C Incinération et brûlage de déchets | 6.1 | 6.4 | 6.5 | 6.9 | 8.7 | 8.9 | 9.4 | 9.9 | 11.3 | 9.2 | 9.0 | 8.2 | 8.8 | 9.7 | 7.5 | 9.4 | 6.7 | 6.7 | 9.1% |
| D Traitement des eaux et rejets | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 15% |
| **Memo** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Soutes internationales** | **6.4** | **5.2** | **6.2** | **6.2** | **5.6** | **6.0** | **5.7** | **5.3** | **4.7** | **4.4** | **4.2** | **4.4** | **4.8** | **4.4** | **2.2** | **2.6** | **3.3** | **3.2** | **-50%** |
| Aviation | 2.6 | 1.8 | 1.7 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.3 | -50% |
| Marine | 3.8 | 3.4 | 4.6 | 4.6 | 4.1 | 4.4 | 4.2 | 3.8 | 3.2 | 2.8 | 2.6 | 2.9 | 3.2 | 2.9 | 1.6 | 1.8 | 2.1 | 1.9 | -50% |

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

## Tableau 30 : Émissions de CO en France par catégorie CRT

**FRANCE (Périmètre UE[(f)])** **CO (kt)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 serre/CO.xlsx

| secteurs CCNUCC | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Ecart 2023/90 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total national (émissions nettes)** | **10 648** | **9 043** | **6 829** | **5 808** | **4 946** | **4 153** | **3 915** | **3 969** | **3 370** | **3 346** | **3 401** | **3 304** | **3 116** | **3 041** | **2 611** | **2 823** | **2 677** | **2 391** | **-78%** |
| **1 Energie** | **9 403** | **7 502** | **5 622** | **4 465** | **3 557** | **2 991** | **3 022** | **3 057** | **2 617** | **2 614** | **2 671** | **2 526** | **2 376** | **2 295** | **1 977** | **2 142** | **1 952** | **1 819** | **-81%** |
| **A Conso. de combustible (approche sectorielle)** | **9 347** | **7 454** | **5 574** | **4 423** | **3 521** | **2 950** | **2 984** | **3 040** | **2 596** | **2 594** | **2 650** | **2 507** | **2 351** | **2 274** | **1 947** | **2 117** | **1 922** | **1 796** | **-81%** |
| 1 Industries de l'énergie | 40 | 33 | 25 | 23 | 24 | 26 | 27 | 26 | 22 | 27 | 33 | 35 | 29 | 32 | 29 | 32 | 34 | 32 | -21% |
| 2 Industries manufacturières et construction | 843 | 771 | 810 | 749 | 548 | 500 | 399 | 417 | 408 | 391 | 419 | 415 | 388 | 365 | 302 | 328 | 326 | 265 | -69% |
| 3 Transport | 5 854 | 4 221 | 2 608 | 1 541 | 885 | 757 | 707 | 645 | 570 | 538 | 510 | 479 | 440 | 409 | 329 | 353 | 349 | 341 | -94% |
| 4 Autres secteurs | 2 557 | 2 408 | 2 120 | 2 102 | 2 058 | 1 661 | 1 845 | 1 947 | 1 590 | 1 634 | 1 684 | 1 573 | 1 489 | 1 464 | 1 283 | 1 395 | 1 202 | 1 148 | -55% |
| 5 Autre | 53.1 | 21.4 | 11.1 | 8.1 | 5.5 | 5.9 | 5.5 | 5.5 | 6.3 | 4.5 | 3.9 | 3.9 | 5.1 | 4.6 | 4.1 | 9.8 | 10.5 | 10.6 | -80% |
| **B Emissions fugitives des combustibles** | **56** | **48** | **48** | **42** | **36** | **41** | **38** | **17** | **20** | **20** | **21** | **19** | **25** | **21** | **30** | **25** | **30** | **23** | **-58%** |
| 1 Combustibles solides | 38 | 31 | 28 | 25 | 18 | 17 | 16 | 15 | 18 | 18 | 19 | 18 | 23 | 19 | 29 | 24 | 29 | 22 | -43% |
| 2 Combustibles liquides et gazeux | 17 | 16 | 20 | 18 | 18 | 24 | 22 | 1.9 | 2.0 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.7 | 1.8 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.7 | -90% |
| **2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits** | **765** | **1 137** | **802** | **974** | **1 029** | **807** | **539** | **583** | **414** | **400** | **397** | **435** | **422** | **427** | **339** | **378** | **347** | **290** | **-62%** |
| B Chimie | 9.1 | 9.2 | 11.5 | 9.9 | 7.7 | 6.8 | 8.1 | 8.0 | 3.1 | 3.3 | 3.2 | 3.2 | 3.0 | 2.8 | 2.4 | 2.9 | 2.4 | 2.3 | -75% |
| C Métallurgie | 741 | 1 115 | 781 | 957 | 1 016 | 795 | 526 | 570 | 407 | 393 | 390 | 427 | 415 | 421 | 334 | 372 | 341 | 284 | -62% |
| D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvant | 9.0 | 7.1 | 4.4 | 2.7 | 1.7 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | -94% |
| H Autre | 5.8 | 5.5 | 5.3 | 3.9 | 3.8 | 3.8 | 3.7 | 3.5 | 3.3 | 3.3 | 3.3 | 3.2 | 3.0 | 2.8 | 2.8 | 2.6 | 2.5 | 2.3 | -60% |
| **3 Agriculture** | **85** | **83** | **89** | **64** | **53** | **50** | **48** | **42** | **40** | **38** | **32** | **31** | **25** | **22** | **18** | **18** | **18** | **18** | **-79%** |
| F Incinération des résidus de culture | 85 | 83 | 89 | 64 | 53 | 50 | 48 | 42 | 40 | 38 | 32 | 31 | 25 | 22 | 18 | 18 | 18 | 18 | -79% |
| **4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture** | **366** | **291** | **286** | **275** | **269** | **265** | **265** | **243** | **249** | **252** | **261** | **277** | **254** | **253** | **243** | **244** | **331** | **234** | **-36%** |
| A Terres forestières | 135 | 67 | 74 | 63 | 47 | 46 | 45 | 35 | 41 | 47 | 53 | 65 | 43 | 58 | 53 | 53 | 144 | 45 | -67% |
| B Terres cultivées | 101 | 103 | 92 | 83 | 88 | 89 | 91 | 89 | 90 | 89 | 91 | 93 | 93 | 91 | 89 | 89 | 87 | 88 | -13% |
| C Prairies | 115 | 106 | 103 | 109 | 115 | 111 | 111 | 101 | 102 | 100 | 101 | 104 | 104 | 90 | 86 | 87 | 85 | 87 | -24% |
| D Zones humides | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 1.8 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 2.2 | 2.1 | 2.0 | 2.0 | 11% |
| E Zones artificialisées | 13 | 13 | 15 | 17 | 16 | 16 | 16 | 15 | 14 | 14 | 13 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | -5.5% |
| F Autres terres | 0.05 | 0.10 | 0.28 | 0.28 | 0.18 | 0.13 | 0.10 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 0.04 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | -42% |
| **5 Déchets** | **29** | **31** | **31** | **31** | **39** | **40** | **42** | **44** | **50** | **41** | **40** | **36** | **39** | **43** | **33** | **42** | **30** | **30** | **1.6%** |
| C Incinération et brûlage de déchets | 29 | 31 | 31 | 31 | 39 | 40 | 42 | 44 | 50 | 41 | 40 | 36 | 39 | 43 | 33 | 42 | 30 | 30 | 1.6% |
| **Memo** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Soutes internationales** | **21** | **20** | **24** | **24** | **22** | **23** | **22** | **22** | **20** | **20** | **20** | **21** | **21** | **21** | **10** | **12** | **16** | **17** | **-21%** |
| Aviation | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 6 | 8 | 11 | 12 | -1% |
| Marine | 8.4 | 7.5 | 10.1 | 10.3 | 9.2 | 9.8 | 9.2 | 8.4 | 7.2 | 6.4 | 5.9 | 6.5 | 7.2 | 6.5 | 3.6 | 4.1 | 4.7 | 4.2 | -50% |

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

**Énergie (CRT 1)**

L'utilisation de l'énergie hors biomasse représente, en 2023, 68.4 % des émissions de gaz à effet de serre en $CO_2e$ hors UTCATF pour la France (périmètre France UE). Ce niveau se situe dans le bas de la fourchette en comparaison à la plupart des pays développés du fait de la part importante d'électricité produite à partir d'énergie nucléaire. En ne considérant que les émissions de $CO_2$, l'utilisation de l'énergie hors biomasse représente à elle seule presque 90 % des émissions de $CO_2$ hors UTCATF.

Cette catégorie est également largement prépondérante vis à vis des émissions de gaz à effet de serre indirect (UTCATF inclus) comme le $SO_2$ (90 %), les $NO_x$ (79 %) et le CO (76 %). Elle contribue à un degré beaucoup moindre aux émissions de COVNM (10 %) en 2023.

En revanche, cette catégorie contribue seulement à hauteur de 11 % aux émissions de $N_2O$ et de 5 % aux émissions de $CH_4$ hors UTCATF en 2023. Il n'y a pas d'émissions de HFC, PFC, $NF_3$ et $SF_6$ associées à cette catégorie dans le rapportage CCNUCC.

En 2023 dans la catégorie énergie, les émissions nationales de $CO_2$ du secteur des transports ressort nettement, avec 43,7 % des émissions hors UTCATF (périmètre France UE), principalement dû au transport routier. Le net déclin de ce secteur en 2020 par rapport à 2019, dû principalement à la crise sanitaire, a été assez largement effacé en 2022 (+17 % comparé à 2020). Toutefois, l'année 2023 enregistre une baisse par rapport à 2022 de -4 % et demeure inférieure au niveau pré-covid. A la suite viennent les secteurs du résidentiel/tertiaire et agriculture (20 %), de l'industrie manufacturière (13 %), des industries de l'énergie (12 %) et des émissions autres et des émissions fugitives des combustibles (représentant chacun moins de 1 %).

Les émissions de **$CH_4$, $N_2O$ et COVNM** du secteur énergie représentent des contributions aux totaux nationaux bien moins importantes que celles du $CO_2$. A noter tout de même l'émission de ces substances dans la combustion de combustibles dans le résidentiel/tertiaire et l'agriculture, ainsi que dans le transport routier. Enfin, l'extraction et la distribution du pétrole et du gaz naturel sont sources d'émissions diffuses de COVNM.

Pour les émissions de **$NO_x$** (UTCATF inclus), le transport domine avec 60 % des émissions du secteur Energie, suivi par le résidentiel/tertiaire et l'agriculture (17 %), puis l'industrie manufacturière (14 %) et l'industrie de l'énergie (7 %).

Concernant les émissions de **CO** (UTCATF inclus) du secteur Energie, elles sont issues à 63 % du secteur résidentiel/tertiaire et l'agriculture, à 19 % du transport et à 15 % de l'industrie manufacturière (partie énergétique). Le CO dans l'industrie de l'énergie et les émissions fugitives des combustibles est faible (environ 3 % pour les deux). A noter la pénétration accrue des pots catalytiques qui a permis de réduire considérablement les émissions de $NO_x$ et de CO du transport routier.

Au sujet des rejets nationaux de **$SO_2$** (UTCATF inclus), en 2023, le secteur de l'énergie est prépondérant (90 % du total national). En effet, la combustion regroupe 81 % des émissions totales (incluant industrie manufacturière 50 % des émissions du secteur; production d'énergie 25 % ; résidentiel/tertiaire et l'agriculture 12 % ; transport 4 % ; autres 1 %) tandis que les émissions fugitives de la distribution de pétrole et de gaz naturel représentent 9 % du total national.

Les émissions des industries de l'énergie, en particulier les centrales électriques, connaissent des fluctuations significatives au cours de la période 1990-2023 consécutives aux conditions particulières rencontrées chaque année (conditions climatiques, disponibilité des centrales nucléaires et hydroélectriques, imports/exports d'électricité), bien qu'elles connaissent globalement une baisse continue.

En 2020, suite à la particularité de cette année marquée par la crise sanitaire, les émissions de $CO_2$ du **transport** étaient pour la première année inférieures au niveau de 1990 (de 10 %). La levée des restrictions et la reprise du trafic en 2021 et 2022 s'est accompagnée d'un net retour à la hausse des émissions, redépassant le niveau de 1990. Les émissions de 2023 sont également supérieures au niveau de 1990 mais semblent revenir dans une tendance à la baisse des années pré-covid. Une stabilisation de ces émissions était observée sur la période 2001-2004, suivie d'une baisse jusqu'en 2008, puis d'une stabilisation les années suivantes. Ainsi, entre 2004 et 2009, les émissions ont baissé d'environ -8 %. Ces évolutions s'expliquent principalement par le ralentissement de la hausse du parc roulant pour le transport routier, puis sa relative stabilité depuis 2005 et, dans le même temps, par l'augmentation des taux d'agrocarburants incorporés dans l'essence et le gazole (émissions $CO_2$ biomasse hors total) et par une amélioration de l'efficacité énergétique du parc via l'introduction de véhicules moins énergivores et à énergie alternative (e.g., électricité). Par la suite, les émissions restent quasi stables sur la période 2008-2019, avec un niveau d'émission variant entre 129,7 et 133,7 Mt $CO_2$. La crise sanitaire et les confinements correspondants ont eu un effet positif sur les émissions du transport avec une baisse drastique de -16 % entre 2019 et 2020. Avec la levée de restriction en 2021, les émissions réaugmentent de 13 % entre 2020 et 2021, puis la reprise du trafic s'est poursuivie entre 2021 et 2022 avec une hausse des émissions de $CO_2$ de 3,5 %. En 2023, les émissions diminuent pour la première fois depuis la crise sanitaire, enregistrant une baisse de -4 % par rapport à 2022. Les émissions de $N_2O$ ont aussi connu une progression de 32 % entre 1990 et 2023. Pour les autres polluants, les émissions du transport sont en baisse bien plus notable :

- -98 % pour les émissions de $SO_2$, soit un recul de 168 kt, lié à l'évolution de la teneur en soufre des carburants,
- -94 % pour les émissions de CO,
- -95 % pour les émissions de COVNM soit une baisse de 890 kt,
- -75 % pour les émissions de $NO_x$ soit une baisse de 960 kt,
- -86 % pour les émissions de $CH_4$.

Pour toutes ces substances (sauf le $CO_2$ et le $SO_2$) la raison de ces évolutions est essentiellement la mise en place des pots catalytiques et les dernières normes Euro sur les véhicules pour le transport routier.

**Procédés industriels (CRT 2)**

En dehors des émissions de HFC (en forte hausse), les émissions de toutes les substances sont orientées à la baisse pour cette catégorie.

Pour les gaz à effet de serre directs, la baisse la plus importante est celle du $N_2O$ (-98 % de 1990 à 2023). Ce secteur ne représente plus que 2 % des émissions de $N_2O$ de la France (hors UTCATF) en 2023 contre 39,6 % en 1990. Cette importante réduction fait suite à la mise en place, à partir de 1998, de systèmes de traitement sur les installations de production chimique, seules contributrices du secteur industriel (acide adipique, glyoxylique et nitrique). Ainsi, de 2003 à 2004, une baisse de 30 % des émissions de la chimie a été observée. Depuis, les émissions continuent de baisser, suite à la diminution de la production d'acide nitrique.

Bien qu'elles ne soient pas significatives, étant donné leur très faible niveau (0,1 % du total national hors UTCATF en 2023, et 0,3 % en 1990), les émissions de $CH_4$ occasionnées par la production de noir de carbone et la métallurgie sont en baisse de 82 % de 1990 à 2023.

Les émissions de $CO_2$ baissent de 42 % de 1990 à 2023, pour atteindre environ 8,8 % des émissions de la France (hors UTCATF). Alors que les émissions de $CO_2$ de l'industrie étaient assez stables depuis 2010, une forte baisse a été observée en 2020, comparativement à 2019 (-14 %), en lien avec la crise sanitaire et le confinement du printemps 2020, qui a été compensée dès 2021. Cependant, une tendance de nouveau à la baisse a été observée en 2022, comparativement à 2021 (-9 %), puis de nouveau en 2023, comparativement à 2022 (-11 %). La baisse entre 1990 et 2023 est observée à la fois dans la production de produits minéraux (-44 %) et dans la chimie (-34 %) suite à des diminutions de production principalement. Les émissions de la métallurgie sont assez fluctuantes sur la période mais en 2023, pour la deuxième année consécutive, elles enregistrent une baisse significative par rapport à l'année précédente (-18 %), atteignant un niveau inférieur de 47 % à celui de 1990.

Les procédés industriels constituent également les uniques sources d'émissions de HFC, de PFC, de $NF_3$ et de $SF_6$, qui sont commentées dans le paragraphe 2.1.4 « Évolution des émissions par gaz à effet de serre direct » du présent rapport.

En ce qui concerne les gaz à effet de serre indirects, il est à noter que la part relative la plus importante dans les émissions France (périmètre France UE), UTCATF inclus, en 2023, concerne le CO (12 %) et les COVNM (15 %), les parts des autres polluants dans les procédés industriels étant très faibles. Ces émissions sont toutes orientées à la baisse entre 1990 et 2023 ($NO_x$ -80 %, COVNM -50 %, $SO_2$ - 71 %, CO -62 %).

Concernant les COVNM, les émissions proviennent en majorité de l'utilisation de solvants et d'autres produits (57% des émissions du CRT 2 et 20 % des émissions totales de COVNM en France en 2023 hors UTCATF). Les émissions de ces secteurs sont en baisse de 50 % en 2023 par rapport à 1990, soit une réduction d'environ 380 kt.

En termes d'émissions totales exprimées en $CO_2$ équivalent, ce secteur représente, en 2023, 9,1 % des émissions France (périmètre France UE) hors UTCATF.

**Agriculture (CRT 3)**

L'agriculture est le secteur prépondérant quant aux émissions de **$CH_4$** et de **$N_2O$** avec respectivement 71 % et 78 % des émissions de la France (périmètre France UE) hors UTCATF en 2023. Les émissions de $CH_4$ du secteur sont en diminution de 19 % entre 1990 et 2023 et celles de $N_2O$ ont régressé de 22 % sur cette même période.

La fermentation entérique (61 % en 2023 du total $CH_4$ en France au périmètre UE hors UTCATF) et les déjections animales (11 % en 2023) constituent l'essentiel des sources émettrices de $CH_4$ de cette catégorie. Les émissions de la fermentation entérique sont en baisse entre 1990 et 2023 (-21 %) notamment dû à l'évolution du cheptel. Celles de la gestion des déjections animales pour 2023 sont en légère baisse comparées au niveau de 1990 (-5,3 %).

La baisse des émissions de $N_2O$ provient principalement du secteur des sols agricoles (-21 % des émissions entre 1990 et 2023, alors qu'il représente 87 % des émissions du CRT 3 en 2022) et, en particulier, de l'épandage des engrais minéraux. En effet, la quantité d'engrais épandus entre 1990 et 2023 est en nette diminution.

En ce qui concerne le $CO_2$, les émissions des sols agricoles sont traitées dans le secteur 4 du CRT (voir ci-après).

Enfin, les sols agricoles sont émetteurs de COVNM pour un peu moins de 200 kt en 2023 et sont relativement stables sur la série temporelle (environ 8 % des COVNM totaux avec UTCATF en 2023). Le secteur de l'agriculture est une source non négligeable d'émissions de $NO_x$ (19 % du total national avec UTCATF en 2023), alors que seule l'incinération de résidus agricoles est source d'émissions de CO et aucune source d'émissions de $SO_2$ est considérée.

L'agriculture participe pour une part non négligeable aux émissions de gaz à effet de serre en $CO_2e$ de 2023 avec 17.7 % du total national hors UTCATF.

**Utilisation des Terres, leur Changement et la Forêt (UTCATF) (CRT 4)**

L'accroissement de la biomasse (en forêts et hors forêts) et la récolte de bois sont les postes prépondérants dans le calcul des puits et des émissions de $CO_2$ liés aux changements dans l'utilisation des sols et de la sylviculture.

Les forêts sont le principal contributeur à cette catégorie. Le stockage de $CO_2$ lié à ce type de terre passe de 45,5 Mt $CO_2$ en 1990 à 51,1 Mt $CO_2$ en 2023. Les niveaux de puits de 2023 sont désormais proches des niveaux de 1990, mais cela consiste une forte érosion du puits par rapport aux années 2010 où il dépassait les 60 Mt $CO_2$. Cette baisse récente est notamment liée à la hausse de la mortalité des arbres à la suite d'épisodes de sécheresses et d'attaques parasitaires, à un ralentissement de la croissance et à une hausse des prélèvements.

Les changements d'utilisation des sols impliquent à la fois un déstockage de $CO_2$ (par exemple, via la conversion des forêts et des prairies en terres agricoles ou en terrains bâtis) et un stockage de $CO_2$ (par exemple, via la conversion des prairies et terres agricoles en forêts).

Lorsque l'on fait le bilan net entre ces émissions et ces absorptions, le secteur de l'utilisation des terres, des changements d'affectation des terres et la forêt représente un puits net de $CO_2$ équivalent qui est en hausse entre 1990 et 2023, passant de 22,4 Mt $CO_2e$ en 1990 à 37,4 Mt $CO_2e$ en 2023, et qui a connu un pic à 55,5 Mt $CO_2e$ en 2005.

L'UTCATF est à l'origine d'émissions de $CH_4$ du fait de l'exploitation forestière (feux de résidus sur place mais aussi par les incendies et barrage de Petit Saut à partir de 1994). Les émissions sont en augmentation de 4,6 % entre 1990 et 2023.

**Déchets (CRT 5)**

Le traitement des déchets représente moins de 0,5 % des émissions totales de $SO_2$, de $NO_x$ et de COVNM avec UTCATF en 2023, et environ 1 % des émissions nationales de CO avec UTCATF. En 2023, le $CO_2$ du secteur représente 0,5 % des émissions nationales hors UTCATF et le $N_2O$ 9,7 % hors UTCATF. Les émissions de $CH_4$ associées au traitement de déchets représentent elles en revanche 23,5 % des émissions nationales hors UTCATF en 2023. De plus, il faut noter que l'incinération avec récupération d'énergie est comptabilisée dans la catégorie CRT 1 Énergie.

Pour le $CH_4$, le stockage de déchets en installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND) est la principale source d'émissions de cette catégorie. Elle représente environ 19 % des émissions de $CH_4$ de la France (périmètre France UE) hors UTCATF en 2023 et 82 % des émissions de $CH_4$ du secteur des déchets. Ces émissions de $CH_4$ sont en diminution de 6,3% en 2023 par rapport à 1990 après un pic d'émission atteint en 2003 du fait de l'augmentation des volumes de déchets et de la cinétique de dégradation des déchets stockés. Ainsi, depuis 2003 les émissions ont été en constante diminution pour, depuis 2015, revenir à un niveau d'émissions semblable ou inférieur à celui de 1990. Le traitement des eaux usées, et particulièrement les traitements autonomes à base de fosses septiques, comptent pour 13 % des émissions de $CH_4$ de cette catégorie en 2023, et ont augmenté de 43 % entre 1990 et 2023.

Il faut noter le développement de la filière du compostage et de la méthanisation des déchets dont les émissions de $CH_4$ et de $N_2O$, bien que faibles (4,6 % de la catégorie CRT 5 déchets pour le $CH_4$, et environ 6,8 % de la catégorie pour le $N_2O$), augmentent fortement entre 1990 et 2023 (respectivement de 482 % et 193 %).

**Autres sources (CRT 6)**

Aucune source n'est rapportée dans cette catégorie, toutes les sources ayant été assignées aussi spécifiquement que possible.

**Emissions hors total national (memo items)**

Cette catégorie regroupe les émissions des sources définies hors du champ « national » dans le cadre de la CCNUCC, et, pour mémoire, le $CO_2$ issu de la combustion dans le secteur « Energie » de la biomasse qui est comptabilisé implicitement dans le secteur 4 UTCATF.

Soutes internationales

Les trafics internationaux aériens et maritimes relatifs aux quantités de combustibles vendus en France représentent des émissions " internationales " non négligeables en ce qui concerne plusieurs des substances inventoriées.

Dans le cas où les soutes internationales seraient incluses dans les émissions totales de la France au périmètre France UE hors UTCATF, celles-ci contribueraient, en 2023, à environ 6,6 % du $CO_2$, 18,5 % des $NO_x$, et 14,7 % du $SO_2$ (et moins de 1,5 % pour le $CH_4$, le CO, les COVNM et le $N_2O$). Il faut noter qu'il y a eu un fort recul des émissions de ces soutes internationales en 2020, du fait notamment de la crise sanitaire et sa conséquente baisse des trafics internationaux, ainsi que de la baisse du taux de soufre du fioul lourd maritime début 2020 grâce à la convention MARPOL pour le $SO_2$. Une nette reprise a été observée en 2022, avec une hausse des émissions pour toutes les substances prépondérantes, mais les émissions reprennent une tendance à la baisse en 2023 comparativement à 2022 : -9 % pour le $CO_2$, +8 % pour le $SO_2$ et -9 % pour les $NO_x$.Les niveaux d'émissions de 2023 des soutes internationales demeurent faibles par rapport aux niveaux d'avant crise Covid (-18 % de $CO_2$, -25 % pour les $NO_x$ et -83 % pour le $SO_2$, par rapport aux niveaux d'émission 2019).

En ce qui concerne le trafic aérien international, les contributions françaises à ces émissions de $CO_2$ ont été estimées séparément pour les trafics intra Union européenne et hors Union européenne pour la Métropole, l'Outre-mer, ainsi que pour la France entière. Au niveau de la France entière, la contribution aux émissions de $CO_2$ des trafics intra Union européenne est d'environ 18 à 24 % du trafic international sur la période 1990-2023.

**Tableau 31 : Contribution du trafic intra et hors Union européenne aux émissions de $CO_2$ du trafic international aérien relatif à la France**

Source Citepa / format CCNUCC

| | | French international aviation - EU and non EU CO2 Contributions (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| International flights | Fuel | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Mainland-Abroad EU | Total | 19% | 20% | 20% | 19% | 19% | 20% | 20% | 19% | 19% | 20% | 21% | 21% | 21% | 21% | 19% | 23% | 24% | 22% |
| Mainland-Abroad non EU | Total | 81% | 80% | 80% | 81% | 81% | 80% | 80% | 81% | 81% | 80% | 79% | 79% | 79% | 79% | 81% | 77% | 76% | 78% |
| Total Mainland-Abroad | Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| EU_Overseas-Abroad EU | Total | 0.9% | 5.6% | 14% | 4.9% | 7.4% | 7.6% | 12% | 8.5% | 15% | 15% | 14% | 12% | 13% | 15% | 37% | 26% | 20% | 19% |
| EU_Overseas-Abroad non EU | Total | 99% | 94% | 86% | 95% | 93% | 92% | 88% | 91% | 85% | 85% | 86% | 88% | 87% | 85% | 63% | 74% | 80% | 81% |
| Total EU_Overseas-Abroad | Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| nonEU_Overseas-Abroad EU | Total | 0.4% | 2.2% | 4.3% | 1.4% | 3.5% | 3.6% | 5.0% | 2.6% | 4.7% | 5.2% | 5.8% | 6.6% | 6.6% | 7.1% | 16% | 6.0% | 6.3% | 6.6% |
| nonEU_Overseas-Abroad non EU | Total | 100% | 98% | 96% | 99% | 97% | 96% | 95% | 97% | 95% | 95% | 94% | 93% | 93% | 93% | 84% | 94% | 94% | 93% |
| Total nonEU_Overseas-Abroad | Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR-Abroad EU | Total | 18% | 19% | 19% | 18% | 19% | 19% | 19% | 19% | 19% | 20% | 21% | 20% | 20% | 20% | 20% | 23% | 24% | 22% |
| FR-Abroad non EU | Total | 82% | 81% | 81% | 82% | 81% | 81% | 81% | 81% | 81% | 80% | 79% | 80% | 80% | 80% | 80% | 77% | 76% | 78% |

Opérations multilatérales

Cet item comptabilise les émissions de $CO_2$ des tirs de fusée Ariane (utilisation de propergol) sur le site ARIANESPACE à Kourou (Guyane). Les consommations de propergol sont confidentielles (un seul site de tir).



# 3. ENERGIE (CRT 1)

# 3.1 Présentation générale du secteur

La consommation d'énergie regroupe les industries de l'énergie (producteurs d'énergie : les centrales électriques, les raffineries de pétrole et la production de combustibles solides et gazeux notamment, l'incinération des déchets avec récupération d'énergie), les industries manufacturières, les transports mais également la consommation d'énergie du secteur résidentiel/tertiaire et de l'agriculture. Il faut ajouter les émissions dites fugitives en provenance, d'une part, de l'élaboration des produits pétroliers et, d'autre part, de l'extraction et de la distribution des combustibles (mines, réseaux de transport de gaz naturel, stations-services, etc.).

L'une des principales bases d'information pour le secteur CRT 1 est le bilan énergétique national réalisé chaque année par le Service de la Donnée et des Etudes Statistiques (SDES). Ce bilan fourni au Citepa est non corrigé du climat et concerne la Métropole voire les DOM pour certains combustibles. Les usages à des fins énergétiques du charbon, du pétrole, des gaz et des énergies renouvelables sont comptabilisés pour les différents secteurs présentés dans le tableau ci-dessous. Un autre poste du bilan est consacré aux usages non énergétiques de ces énergies. Néanmoins, ces consommations font l'objet d'un traitement particulier par le Citepa (cf. chapitre 3.2.3). Ces bilans annuels sont construits à partir des retours d'enquêtes annuelles, voire mensuelles auprès des producteurs et des utilisateurs d'énergie.

En ce qui concerne le bilan énergétique des territoires d'Outre-mer, le Citepa élabore les bilans énergétiques de chaque territoire à partir de différentes sources dont le Comité Professionnel du Pétrole – CPDP (consommations par territoire et type de combustible depuis 1990, sans distinction par secteur), les déclarations annuelles des émissions de certains exploitants (notamment pour la production centralisée d'électricité et les GIC) ainsi que les bilans élaborés par les Observatoires de l'énergie existants en Guadeloupe, Guyane, Martinique, Nouvelle-Calédonie et à la Réunion. D'autres données sectorielles sont disponibles pour quelques années pour Mayotte et la Polynésie française notamment.

Le **Citepa et les équipes du SDES** en charge de l'élaboration du bilan de l'énergie travaillent ensemble afin d'affiner la prise en compte des statistiques énergétiques nationales dans l'estimation des émissions en France.

En 2017, le SDES a réalisé une refonte de son bilan de l'énergie. Cette refonte a notamment été l'occasion d'opérer plusieurs changements méthodologiques dans la comptabilisation de certains flux, afin de rapprocher les concepts utilisés dans le bilan national de ceux retenus par l'Agence internationale de l'énergie.

Dans le cadre de l'utilisation de ces données dans l'inventaire, cette refonte présente des résultats plus détaillés que ceux utilisés auparavant avec des découpages par secteur plus proche de ceux imposés par les tables CRT.

**Tableau 32 : Correspondance des secteurs bilan de l'énergie français / CRT**

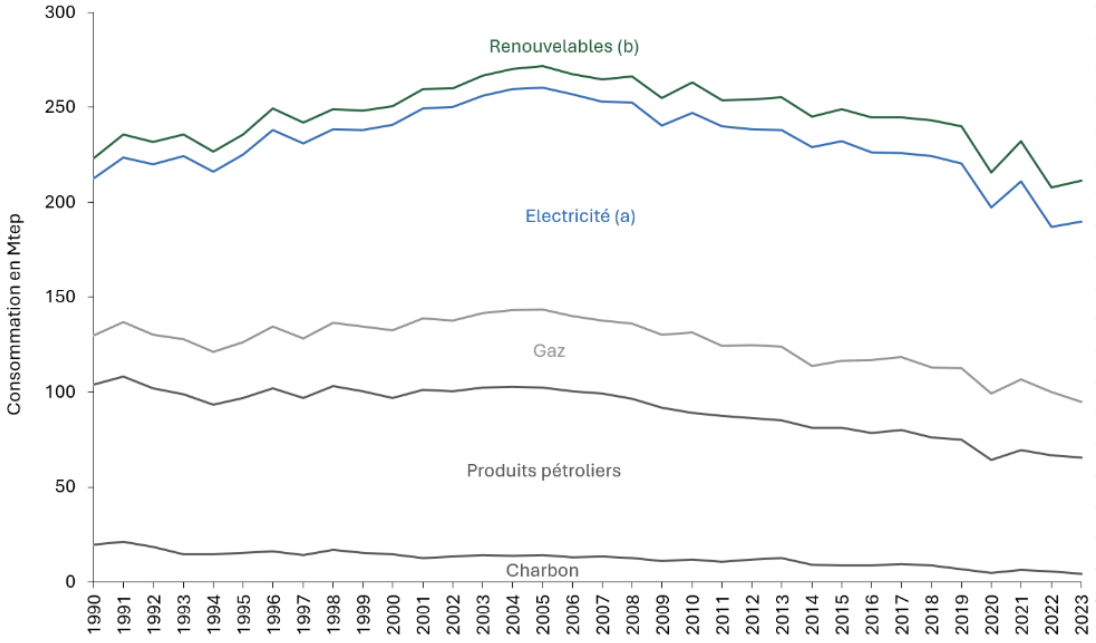
| Secteur bilan énergie SDES | Secteur CRT |
|---|---|
| **Consommation de la branche transformation** | |
| *Centrales d'électricité / de cogénération / calogènes (activité principale et autoproduction)* | 1A1a (production centralisée d'électricité et production centralisée de chaleur, production de chaleur du chauffage urbain, autoproduction d'électricité du chauffage urbain et UIDND avec récupération d'énergie), 1A2 et 1A4a (autoproduction d'électricité) |
| *Hauts-fourneaux* | 2C1 (les usages énergétiques et non énergétiques de combustibles minéraux solides (CMS) sont alloués au CRT 2C1 conformément aux lignes directrices du GIEC) |
| *Autres transformations* | 1A1c |
| *(pas de correspondance)* | 1A3e (transport de gaz) |
| *Pertes sur distribution de gaz* | (pas de correspondance) |
| **Consommation finale d'énergie** | |
| *Industrie (sidérurgie, chimique, métaux non ferreux, produits minéraux, agroalimentaire, papier, construction, etc.)* | 1A2 dont 1A2gvii (EMNR) |
| *Transports (hors soutes maritimes internationales)* | 1A3 |
| *Commerce et services publics*<br>*Résidentiel* | 1A4a, 1A4b |
| *Agriculture/Sylviculture*<br>*Pêche* | 1A4c |
| *Non spécifié* | 1A5 |

Pour plus de détail sur les traitements par secteur, se reporter aux chapitres correspondants.

Les données du SDES sont généralement complétées par d'autres sources de données plus sectorielles afin d'affiner les données relatives aux différents postes à prendre en compte dans l'élaboration de l'inventaire. Ces autres sources d'informations sont cohérentes avec le bilan établi par le SDES. Il s'agit notamment des données du Comité Professionnel du Pétrole (CPDP) qui détaille les consommations par type de combustibles pour le pétrole raffiné, des statistiques de la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN), des données de consommations des sites traités individuellement (déclaration annuelle des rejets), etc.

La figure ci-dessous illustre l'évolution de la consommation d'énergie primaire en Métropole (électricité comprise).

**Figure 13 : Consommation d'énergie primaire en France métropolitaine (non corrigée du climat, en cumulé)**




(a) Electricité : nucléaire, hydraulique et éolienne, solaire, photovoltaïque et géothermie
(b) Renouvelables : géothermie, solaire thermique, pompes à chaleur, déchets renouvelables, biomasse solide, biogaz, biocarburants

source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Graph_1A.xlsx/Energie primaire

Alors que la tendance de consommation de la décennie 1990 était à la hausse de + 1,2 % par an en moyenne, la consommation d'énergie primaire a cessé de croître depuis 2005 avant de baisser nettement en 2009 à la suite de la crise économique. Depuis 2010, dans un contexte de stagnation de l'économie française, les variations des consommations sont notamment influencées par les effets climatiques (évolution du coefficient de rigueur climatique, cf. chapitre 2.1.4), dont les impacts sont particulièrement visibles en 2014 et 2022, mais également par des phénomènes structurels tels que les changements de comportement, le prix des énergies, les performances énergétiques des bâtiments et procédés industriels, et les effets conjoncturels comme la crise sanitaire de 2020.

Les variations de la consommation globale d'énergie primaire depuis 1990 ont été absorbées en premier lieu par l'électricité, principalement d'origine nucléaire et hydraulique, dont la croissance est de +12 Mtep, soit +15 %, entre 1990 et 2023. Par rapport à 1990, la consommation d'électricité a augmenté d'environ 40 % sur la période 2003-2015 (niveau assez stable, hors 2009), mais une tendance à la baisse est observée dans les années plus récentes.

Les consommations des énergies renouvelables (+105 % soit +11 Mtep entre 1990 et 2023) et du gaz (+12 % soit +3 Mtep entre 1990 et 2023) sont à la hausse. Sur la même période, la tendance au recul du pétrole se confirme au fil des ans (-27 % en 2023, comparé à 1990) tandis que celle du charbon est significative (-79 % en 2023, comparé à 1990).

L'année 2021 est particulière car marquée par une reprise significative généralisée de la consommation énergétique de +8% par rapport à 2020, en lien avec la crise sanitaire et les restrictions de déplacement qui ont démarrées en 2020.

En 2023, la structure du mix énergétique primaire de la France reste assez stable malgré à 2022, avec une reprise de la consommation d'électricité primaire (+9,5% comparé à 2022, après avoir connu une baisse de -17 % en 2022, comparé à 2021) : 45 % d'électricité primaire, 29 % de produits pétroliers, 14 % de gaz, 10 % de renouvelables thermiques (y compris déchets) et 2 % de charbon en 2023.

Le bilan énergétique français est singulier, avec un recours très limité aux combustibles fossiles pour la production d'électricité, étant donné l'importance de son parc électronucléaire et la part relativement faible de son parc thermique à flamme.

En ce qui concerne l'Outre-mer (au périmètre France entière, soit inclus ou non dans l'UE), la situation observée est très différente. Un bilan annuel est réalisé sur la base des statistiques disponibles localement pour estimer les consommations de combustibles fossiles qui sont présentées dans la figure ci-dessous. Le niveau de consommation, bien que très inférieur à celui de la Métropole (l'ensemble Outre-mer ne représente que 2 % environ en 2023), était en augmentation soutenue depuis 1990 et jusqu'en 2020-2021, pour laquelle une baisse significative a été observée. La crise sanitaire en 2020 a en effet fait chuter les consommations de 10 % par rapport à 2019 selon les répartitions suivantes :

- De -8 % de charbon ;
- De -11 % de produits pétroliers ;
- De -5 % de biomasse.

Elles sont reparties à la hausse en 2022-2023 (+3 % en 2023 comparé à 2021), après avoir connu une année 2021 en légère baisse par rapport à 2020 avec -0,8 %.

**Figure 14 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer (non corrigée du climat, en cumulé)**

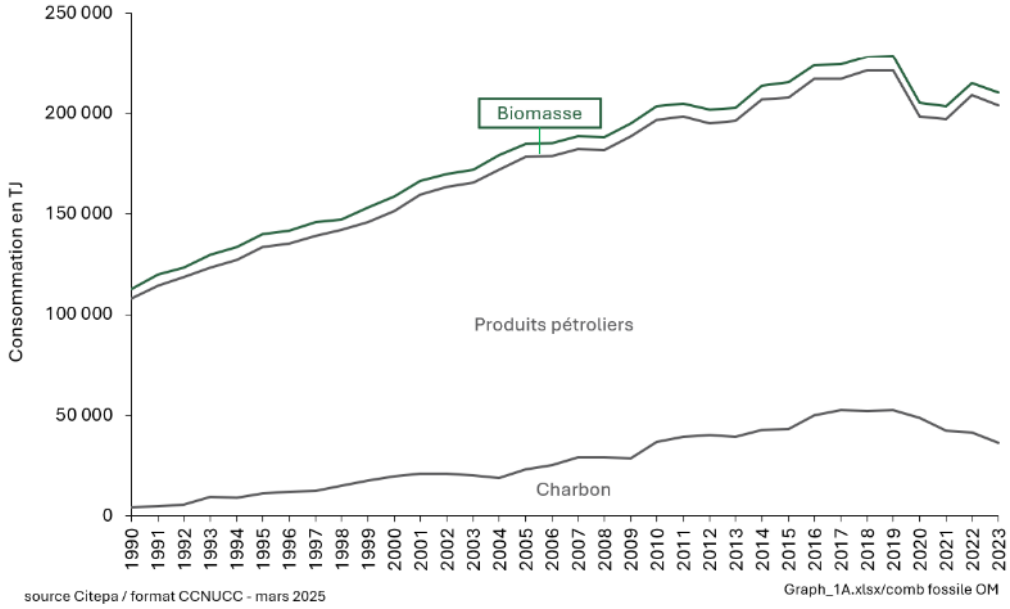


**Tableau 33 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer (non corrigée du climat)**

| | Consommation en TJ | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Total Outre-mer** | Charbon | Produits pétroliers | Biomasse | **Total** |
| 1990 | 4 274 | 103 572 | 4 854 | **112 700** |
| 1991 | 4 597 | 109 830 | 5 430 | **119 856** |
| 1992 | 5 491 | 112 861 | 4 983 | **123 335** |
| 1993 | 9 464 | 113 924 | 6 265 | **129 653** |
| 1994 | 9 119 | 117 995 | 6 268 | **133 382** |
| 1995 | 11 083 | 122 556 | 6 303 | **139 942** |
| 1996 | 11 724 | 123 426 | 6 559 | **141 709** |
| 1997 | 12 471 | 126 532 | 6 764 | **145 766** |
| 1998 | 15 017 | 126 837 | 5 444 | **147 298** |
| 1999 | 17 662 | 128 156 | 7 110 | **152 928** |
| 2000 | 19 790 | 131 774 | 6 903 | **158 467** |
| 2001 | 20 814 | 138 543 | 6 873 | **166 230** |
| 2002 | 20 751 | 142 409 | 6 596 | **169 756** |
| 2003 | 19 922 | 145 438 | 6 663 | **172 023** |
| 2004 | 18 836 | 153 196 | 6 910 | **178 941** |
| 2005 | 22 883 | 155 250 | 6 654 | **184 786** |
| 2006 | 25 264 | 153 247 | 6 528 | **185 038** |
| 2007 | 28 789 | 153 508 | 6 288 | **188 585** |
| 2008 | 29 175 | 152 521 | 6 427 | **188 124** |
| 2009 | 28 638 | 159 738 | 6 677 | **195 053** |
| 2010 | 36 581 | 159 815 | 6 865 | **203 260** |
| 2011 | 39 208 | 158 896 | 6 717 | **204 821** |
| 2012 | 40 261 | 154 567 | 6 902 | **201 730** |
| 2013 | 39 312 | 156 858 | 6 542 | **202 712** |
| 2014 | 42 630 | 164 182 | 6 981 | **213 793** |
| 2015 | 43 167 | 164 665 | 7 412 | **215 243** |
| 2016 | 49 864 | 167 126 | 7 070 | **224 061** |
| 2017 | 52 520 | 164 447 | 7 365 | **224 332** |
| 2018 | 52 163 | 169 282 | 6 517 | **227 961** |
| 2019 | 52 498 | 168 970 | 7 081 | **228 548** |
| 2020 | 48 512 | 149 920 | 6 738 | **205 170** |
| 2021 | 42 077 | 154 951 | 6 565 | **203 592** |
| 2022 | 41 314 | 167 509 | 6 099 | **214 923** |
| 2023 | 36 406 | 167 274 | 6 478 | **210 158** |

Les consommations d'énergie en Outre-mer pour les territoires du périmètre France UE suivent sensiblement la même évolution que pour l'ensemble des territoires d'Outre-mer sauf depuis 2011 où il est constaté une baisse des consommations, notamment de charbon. La crise sanitaire en 2020 a également fait chuter la consommation énergétique totale de ces territoires de 10 % par rapport à 2019, mais sans affecter significativement le charbon. Les consommations sont en revanche reparties à la hausse en 2021-2022 (+3,5% en 2021 et +6,4 % en 2022, par rapport à 2020). En 2023, les consommations énergétiques sont légèrement en baisse avec -3,8% par rapport à 2022.

**Figure 15 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer au périmètre France UE (non corrigée du climat, en cumulé)**

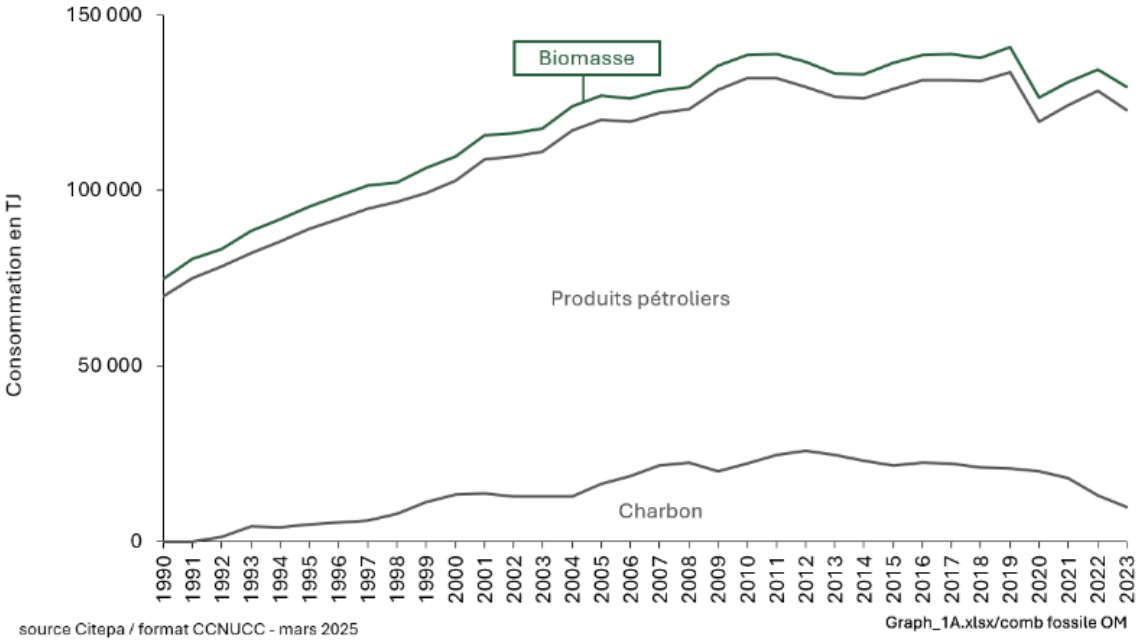



**Tableau 34 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer au périmètre France UE (non corrigée du climat)**

| | Consommation en TJ | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Outre-mer périmètre UE** | Charbon | Produits pétroliers | Biomasse | **Total** |
| 1990 | 0 | 69 938 | 4 854 | **74 792** |
| 1991 | 0 | 75 048 | 5 430 | **80 478** |
| 1992 | 1 216 | 77 008 | 4 983 | **83 207** |
| 1993 | 4 279 | 77 911 | 6 265 | **88 455** |
| 1994 | 3 981 | 81 462 | 6 268 | **91 711** |
| 1995 | 4 854 | 84 295 | 6 303 | **95 452** |
| 1996 | 5 315 | 86 605 | 6 559 | **98 479** |
| 1997 | 5 862 | 88 835 | 6 764 | **101 460** |
| 1998 | 7 965 | 88 738 | 5 444 | **102 147** |
| 1999 | 11 157 | 88 017 | 7 110 | **106 284** |
| 2000 | 13 287 | 89 597 | 6 903 | **109 786** |
| 2001 | 13 720 | 95 238 | 6 873 | **115 831** |
| 2002 | 12 796 | 96 965 | 6 596 | **116 357** |
| 2003 | 12 872 | 98 101 | 6 663 | **117 636** |
| 2004 | 12 923 | 104 137 | 6 910 | **123 970** |
| 2005 | 16 260 | 103 976 | 6 654 | **126 890** |
| 2006 | 18 581 | 100 990 | 6 528 | **126 099** |
| 2007 | 21 652 | 100 344 | 6 288 | **128 284** |
| 2008 | 22 339 | 100 816 | 6 427 | **129 582** |
| 2009 | 19 980 | 108 758 | 6 677 | **135 416** |
| 2010 | 22 149 | 109 680 | 6 865 | **138 693** |
| 2011 | 24 774 | 107 289 | 6 717 | **138 781** |
| 2012 | 25 742 | 103 867 | 6 902 | **136 510** |
| 2013 | 24 741 | 102 082 | 6 542 | **133 364** |
| 2014 | 22 961 | 103 189 | 6 981 | **133 131** |
| 2015 | 21 650 | 107 215 | 7 412 | **136 277** |
| 2016 | 22 569 | 108 906 | 7 070 | **138 545** |
| 2017 | 22 049 | 109 349 | 7 365 | **138 764** |
| 2018 | 21 181 | 110 087 | 6 517 | **137 784** |
| 2019 | 20 749 | 112 937 | 7 081 | **140 766** |
| 2020 | 20 070 | 99 608 | 6 738 | **126 415** |
| 2021 | 18 114 | 106 204 | 6 565 | **130 883** |
| 2022 | 13 046 | 115 312 | 6 099 | **134 457** |
| 2023 | 9 836 | 113 084 | 6 478 | **129 397** |

**Tableau 35 : Émissions de gaz à effet de serre du secteur de l'énergie**

| ENERGIE (périmètre France UE) | | | | Secteurs-d.xlsx |
|---|---|---|---|---|
| | 1990 | | 2023 | |
| Substances | Emissions en $CO_2$ eq (kt) | % du total national hors UTCATF | Emissions en $CO_2$ eq (kt) | % du total national hors UTCATF |
| $CO_2$ | 351 598 | 88,3% | 250 807 | 89,9% |
| $CH_4$ | 13 961 | 17,1% | 3 107 | 5,1% |
| $N_2O$ | 3 025 | 5,6% | 2 986 | 11,1% |
| HFC | 0 | 0% | 0 | 0% |
| PFC | 0 | 0% | 0 | 0% |
| $SF_6$ | 0 | 0% | 0 | 0% |
| $NF_3$ | 0 | 0% | 0 | 0% |
| $CO_2e$ | 368 584 | 67,6% | 256 901 | 68,4% |

source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

La consommation de combustibles fossiles est la première source d'émissions de $CO_2$, produit fatal de la combustion. Ainsi en 2023, environ 89,9 % des émissions de $CO_2$ en France au périmètre France UE proviennent de l'utilisation de l'énergie. Les parts des émissions de $CH_4$ et $N_2O$ sont bien moindres, avec respectivement 5,1 % et 11,1 % des émissions en 2023 (hors UTCATF). Cette catégorie représente plus de 68,4 % des émissions totales en $CO_2e$ de la France au périmètre France UE (hors UTCATF) en 2023.

# 3.2 Consommation de combustibles (CRT 1A)

## 3.2.1 Comparaison de l'approche sectorielle avec l'approche de référence

Des tentatives de recoupements peuvent être effectuées quand cela est possible, en particulier en ce qui concerne l'énergie en comparant les méthodes "sectorielles" (issues de l'inventaire GES) et de "référence" (basées sur les données de productions, imports, exports et changement de stocks du bilan de l'énergie), pour le secteur de l'énergie (CRT 1A). **Cette dernière méthode alternative est globale et a ses propres limites. Elle ne saurait constituer un référentiel absolu malgré son appellation**.

L'approche de référence est recommandée par le GIEC. Celle-ci figure dans les tables CRT (voir tableau ci-après et annexe 6). Depuis l'édition NID 2025, l'approche dite de "référence" est appliquée sur le périmètre géographique « France UE » (et non plus France entière). Ici, c'est le périmètre France UE qui est présenté. Pour l'énergie (CRT 1A), elle fournit des résultats plus ou moins proches de l'approche "sectorielle".

**Tableau 36 : Comparaison des émissions de $CO_2$ de l'approche de référence et de l'approche sectorielle – périmètre France UE**

| | Comparaison entre les approches de référence et sectorielle pour l'énergie - périmètre Kyoto | | |
|---|---|---|---|
| | Approche de référence en kt $CO_2$ A | Approche sectorielle en kt $CO_2$ Kyoto (Métropole et DOM) B | Ecart % A/B |
| 1990 | 351 380 | 347 236 | 1.2 |
| 1991 | 366 555 | 373 051 | -1.7 |
| 1992 | 344 822 | 365 034 | -5.5 |
| 1993 | 341 031 | 346 831 | -1.7 |
| 1994 | 317 325 | 339 046 | -6.4 |
| 1995 | 331 216 | 345 172 | -4.0 |
| 1996 | 358 500 | 362 321 | -1.1 |
| 1997 | 333 321 | 354 291 | -5.9 |
| 1998 | 365 086 | 372 441 | -2.0 |
| 1999 | 358 047 | 371 772 | -3.7 |
| 2000 | 348 177 | 365 568 | -4.8 |
| 2001 | 368 008 | 371 965 | -1.1 |
| 2002 | 362 798 | 366 969 | -1.1 |
| 2003 | 368 097 | 374 279 | -1.7 |
| 2004 | 370 718 | 373 930 | -0.9 |
| 2005 | 371 783 | 376 487 | -1.2 |
| 2006 | 359 395 | 365 391 | -1.6 |
| 2007 | 351 711 | 354 505 | -0.8 |
| 2008 | 352 598 | 351 859 | 0.2 |
| 2009 | 343 756 | 343 260 | 0.1 |
| 2010 | 345 369 | 345 819 | -0.1 |
| 2011 | 322 602 | 324 146 | -0.5 |
| 2012 | 329 503 | 329 719 | -0.1 |
| 2013 | 325 610 | 329 787 | -1.3 |
| 2014 | 294 607 | 297 669 | -1.0 |
| 2015 | 303 150 | 303 952 | -0.3 |
| 2016 | 304 352 | 307 308 | -1.0 |
| 2017 | 309 477 | 308 842 | 0.2 |
| 2018 | 294 369 | 293 861 | 0.2 |
| 2019 | 290 816 | 288 422 | 0.8 |
| 2020 | 253 101 | 257 426 | -1.7 |
| 2021 | 272 164 | 279 978 | -2.8 |
| 2022 | 264 603 | 271 102 | -2.4 |
| 2023 | 251 223 | 249 185 | 0.8 |
| ***Moyenne*** | ***330 155*** | ***335 548*** | ***-1.5*** |

Les données détaillées, transmises par le SDES à l'AIE, sont utilisées sur toute la série.

Au **niveau global** (tous combustibles confondus), sur la période 1990-2023, les écarts sont en moyenne de -1,5 % entre les deux approches (périmètre géographique France UE). Entre 2000 et 2022, l'écart moyen entre les deux approches est de -0,9 %. Ces écarts observés sont raisonnables par rapport aux recommandations du GIEC (5 %). Cependant, par rapport aux recommandations du MMR européen (2 %), plusieurs années sont à approfondir pour comprendre les raisons de ces écarts. En particulier, la période 1992-2000 révèle des écarts supérieurs à ± 2 %, l'approche sectorielle étant légèrement au-dessus de l'approche de référence. Dans les paragraphes suivants, des explications supplémentaires sont données par catégorie de combustibles quant aux éventuelles raisons des différences observées pour les données d'activités.

Dans le cas du gaz naturel par exemple, des écarts variant de 0 à 6 % sont observés en émissions et en consommations entre les approches de référence et sectorielle sur toute la période, écarts qui ont été identifiés comme étant dus aux différences statistiques, aux différences de sources de données pour les produits pétroliers, à la ligne « distribution losses » pour le gaz qui correspond aux pertes lors

du transport et de la distribution du gaz naturel (1B), qui ne sont pas considérées comme consommations énergétiques ou non-énergétiques, et aux consommations des stations de compression pour le transport du gaz (1A3e)(voir paragraphe « Gaseous fuels » ci-après). Or, les émissions pour le gaz naturel représentent entre 16% (en début de période) et 30% (dans les dernières années) des émissions globales de $CO_2$ liées à la consommation de combustibles de l'approche sectorielle, ce qui explique donc une partie des écarts sur le total. Depuis plusieurs éditions, de nombreuses discussions ont été réalisées avec le SDES, en charge du bilan de l'énergie, pour comprendre les différences de plus de 2 % qui sont observées sur le début de la série temporelle et de nombreux efforts ont été mis en œuvre pour réduire les différences entre les deux approches.

Au **niveau de chaque catégorie de combustibles :**

→ **Liquid fuels** : plusieurs années entre 1992 et 2000 présentent des écarts importants, supérieurs à ± 5 %. Pour les produits pétroliers, les écarts d'émissions de $CO_2$ sont souvent relativement similaires aux écarts observés pour les données de consommation. Une partie de ces différences observées s'explique par les écarts statistiques rapportés dans le bilan énergétique au format AIE. De plus, sur le début de la série temporelle, une partie des combustibles liquides consommés dans certains secteurs est comptabilisée dans les écarts statistiques du bilan de l'énergie : elles sont ajoutées à l'approche sectorielle afin d'assurer la cohérence temporelle des séries dans l'inventaire. Enfin, certaines consommations de combustibles de l'inventaire proviennent d'autres sources que le bilan de l'énergie (consommations du transport routier provenant des comptes du transport, consommations de combustibles liquides « spéciaux » non compris dans le bilan de l'énergie provenant de l'ETS, consommations de gaz de raffinerie pour 2010-2023 provenant de l'ETS et non égaux au bilan de l'énergie), et expliquent une partie des écarts observés.

**Tableau 37 : Comparaison des consommations et des émissions de combustibles liquides entre les approches de référence et sectorielle, avec ou sans considération des écarts statistiques des bilans de l'énergie**

| | Consommations | | Emissions $CO_2$ | |
|---|---|---|---|---|
| LIQUIDS | avec écart statistique | sans écart statistique | avec écart statistique | sans écart statistique |
| 1990 | -1.1% | 3.0% | 0.0% | 4.0% |
| 1991 | 2.0% | 3.1% | 3.0% | 4.1% |
| 1992 | 7.2% | 3.7% | 8.2% | 4.5% |
| 1993 | 2.0% | 2.8% | 2.9% | 3.7% |
| 1994 | 7.7% | 2.6% | 8.5% | 3.5% |
| 1995 | 6.4% | 2.3% | 7.2% | 3.1% |
| 1996 | 2.5% | 2.5% | 3.1% | 3.2% |
| 1997 | 7.3% | 3.6% | 8.0% | 4.4% |
| 1998 | 3.1% | 0.8% | 3.7% | 1.4% |
| 1999 | 4.8% | 2.3% | 5.3% | 2.9% |
| 2000 | 6.4% | 0.8% | 6.8% | 1.3% |
| 2001 | 0.7% | 1.6% | 1.1% | 2.1% |
| 2002 | 1.4% | 1.8% | 2.0% | 2.4% |
| 2003 | 3.4% | 2.3% | 3.9% | 2.9% |
| 2004 | 1.9% | 2.0% | 2.6% | 2.7% |
| 2005 | 2.0% | 2.2% | 2.6% | 3.0% |
| 2006 | 2.2% | 2.4% | 2.6% | 2.9% |
| 2007 | 0.9% | 1.8% | 1.2% | 2.3% |
| 2008 | -0.1% | 1.3% | 0.0% | 1.6% |
| 2009 | 0.1% | 2.4% | -0.1% | 2.3% |
| 2010 | 2.7% | 2.6% | 2.6% | 2.6% |
| 2011 | 1.7% | 3.4% | 1.4% | 3.5% |
| 2012 | 1.1% | 1.7% | 0.9% | 1.9% |
| 2013 | 3.4% | 3.2% | 3.4% | 3.4% |
| 2014 | 1.4% | 2.9% | 1.5% | 3.2% |
| 2015 | 0.2% | 2.7% | 0.6% | 3.3% |
| 2016 | 2.0% | 2.5% | 2.2% | 2.9% |
| 2017 | 1.9% | 2.3% | -0.1% | 0.5% |
| 2018 | 0.9% | 1.3% | 0.9% | 1.5% |
| 2019 | -0.2% | 2.1% | -0.5% | 2.2% |
| 2020 | 2.7% | 3.3% | 2.1% | 3.1% |
| 2021 | 4.6% | 2.1% | 4.5% | 2.2% |
| 2022 | 3.1% | 0.2% | 3.2% | 0.6% |
| 2023 | -1.8% | 1.2% | -1.8% | 1.4% |

En ne considérant pas les écarts statistiques, les différences observées sur les données d'activité sont plus stables et cohérentes d'une année sur l'autre, et de 2,3 % en moyenne sur la série. En analysant plus finement certaines données de consommations pour lesquelles nous prenons des sources différentes du bilan de l'énergie (le transport routier, les autres combustibles liquides de l'industrie non inclus dans le bilan de l'énergie et le gaz de raffinerie), les écarts de consommations entre les approches de référence et sectorielle, en ne considérant pas l'écart statistique du bilan, sont en moyenne de 0,8 % et varient comme suivant :

**Tableau 38 : Comparaison des consommations de combustibles liquides entre les approches de référence et sectorielle, avec ou sans considération des écarts statistiques des bilans de l'énergie et sans considération des données provenant de sources différentes du bilan de l'énergie**

| | Consommations | |
|---|---|---|
| LIQUIDS | avec écart statistique | sans écart statistique et hors données de différentes sources |
| 1990 | -1.1% | -0.4% |
| 1991 | 2.0% | -0.6% |
| 1992 | 7.2% | -0.2% |
| 1993 | 2.0% | 0.5% |
| 1994 | 7.7% | 1.0% |
| 1995 | 6.4% | 1.5% |
| 1996 | 2.5% | 2.2% |
| 1997 | 7.3% | 1.0% |
| 1998 | 3.1% | 1.6% |
| 1999 | 4.8% | 1.3% |
| 2000 | 6.4% | 1.5% |
| 2001 | 0.7% | 1.3% |
| 2002 | 1.4% | 1.8% |
| 2003 | 3.4% | 1.9% |
| 2004 | 1.9% | 2.1% |
| 2005 | 2.0% | 1.6% |
| 2006 | 2.2% | 1.6% |
| 2007 | 0.9% | 1.7% |
| 2008 | -0.1% | 2.0% |
| 2009 | 0.1% | 1.6% |
| 2010 | 2.7% | 1.9% |
| 2011 | 1.7% | -1.9% |
| 2012 | 1.1% | 0.5% |
| 2013 | 3.4% | -0.7% |
| 2014 | 1.4% | -0.3% |
| 2015 | 0.2% | -0.4% |
| 2016 | 2.0% | -0.1% |
| 2017 | 1.9% | -0.4% |
| 2018 | 0.9% | 0.5% |
| 2019 | -0.2% | 0.1% |
| 2020 | 2.7% | -0.9% |
| 2021 | 4.6% | -0.3% |
| 2022 | 3.1% | 0.1% |
| 2023 | -1.8% | 0.0% |

→ **Solid fuels** : des écarts de -14 % à +15 % sont observés sur les consommations de l'approche sectorielle par rapport aux consommations de l'approche de référence. Sur les émissions, les écarts observés sont en moyenne de -2,3 %. Cependant, une grande partie des écarts observés s'explique par les différences statistiques des bilans énergétiques. En effet, en ne considérant plus la différence statistique du bilan de l'énergie pour les divers combustibles solides, les différences entre les approches sectorielle et de référence baissent nettement : les différences moyennes sont de 0,8 % pour les consommations (variant de -4,9 % à +4,0 %) et -1,4 %

pour les émissions (variant de -4,7 % à +0,6 %), et plus aucune valeur supérieure à ± 5 % n'est observée. Notamment, les écarts importants observés depuis 2010, de l'ordre de 10 % en consommations, sont alors ramenés aux alentours de 1 à 2 %.

**Tableau 39: Comparaison des consommations et des émissions de combustibles solides entre les approches de référence et sectorielle, avec ou sans considération des écarts statistiques des bilans de l'énergie**

| | Consommations | | Emissions CO2 | |
|---|---|---|---|---|
| SOLIDS | avec écart statistique | sans écart statistique | avec écart statistique | sans écart statistique |
| 1990 | 0.9% | 2.4% | -2.1% | -0.7% |
| 1991 | 3.3% | 3.7% | 0.4% | 0.6% |
| 1992 | 4.2% | 3.7% | 1.1% | 0.6% |
| 1993 | 2.6% | 2.5% | -0.1% | -0.1% |
| 1994 | 4.3% | 3.8% | 0.9% | 0.5% |
| 1995 | -1.0% | -0.9% | -3.4% | -3.3% |
| 1996 | -2.5% | 0.4% | -4.9% | -2.3% |
| 1997 | 5.6% | 1.6% | 1.5% | -2.1% |
| 1998 | 3.7% | 2.5% | -0.1% | -1.1% |
| 1999 | 4.0% | 0.9% | 0.3% | -2.3% |
| 2000 | 6.7% | 4.0% | 2.8% | 0.5% |
| 2001 | 6.0% | -2.5% | 2.5% | -4.7% |
| 2002 | 1.9% | -0.7% | -2.3% | -4.6% |
| 2003 | -4.1% | 1.4% | -7.1% | -2.1% |
| 2004 | -4.0% | 2.2% | -6.5% | -1.2% |
| 2005 | 1.7% | 0.7% | -2.1% | -2.9% |
| 2006 | 5.0% | 2.5% | -0.3% | -2.1% |
| 2007 | 2.8% | -0.5% | 0.9% | -2.3% |
| 2008 | 1.7% | -0.6% | -1.2% | -3.5% |
| 2009 | -5.1% | -0.4% | -6.4% | -2.2% |
| 2010 | -8.1% | -0.8% | -8.0% | -1.7% |
| 2011 | -13.8% | 0.9% | -12.8% | -0.4% |
| 2012 | -11.2% | 0.4% | -11.3% | -1.5% |
| 2013 | -11.2% | 0.3% | -11.9% | -2.0% |
| 2014 | -1.1% | 3.9% | -3.2% | 0.5% |
| 2015 | -2.1% | 1.6% | -3.4% | -0.7% |
| 2016 | -11.5% | -0.8% | -9.0% | -0.6% |
| 2017 | -4.9% | -0.6% | -2.8% | 0.5% |
| 2018 | -12.3% | -1.4% | -8.9% | -0.6% |
| 2019 | -10.1% | -0.1% | -7.1% | -0.2% |
| 2020 | 15.1% | 2.5% | 9.5% | 0.0% |
| 2021 | 10.1% | 0.4% | 4.8% | -2.4% |
| 2022 | 6.2% | -2.2% | 3.5% | -2.3% |
| 2023 | 9.5% | -4.9% | 9.3% | -1.4% |

→ **Gaseous fuels** : les écarts sont en général assez faibles (en moyenne -0,5 % pour la consommation et 0,0 % pour les émissions, par biais de compensation) sauf pour l'année 1990 qui présente des écarts supérieurs à 5 % en consommations et émissions. Une nouvelle fois, les écarts statistiques des bilans de l'énergie au format AIE expliquent une grande part des écarts importants observés (voir tableau ci-dessous). De plus, sur toute la période, et particulièrement entre 2003 et 2022, les écarts observés entre les deux approches varient toujours entre 0 et ±1 %. Après analyse des consommations sectorielles de gaz naturel, il ressort que ces écarts proviennent :

- des pertes de distribution (ligne « distribution losses » au format AIE), correspondant à des fuites qui sont incluses dans les émissions fugitives pour l'inventaire (1B),
- et aux consommations des stations de compression (1A3ei) qui ne sont pas inclues dans le bilan de l'énergie.

En considérant les écarts dus aux différences statistiques et aux pertes de distribution (hors consommations des stations de compression), les écarts entre l'approche sectorielle et l'approche de référence chutent entre 0 % et 0,2 %. Les écarts restants pour la période 2010-2023 s'expliquent par l'injection de biométhane sur le réseau de distribution, qui n'est pas toujours rapporté dans le SEQE-UE, et donc des différences sont observées pour les secteurs où les consommations sont issues des déclarations (approche « bottom-up »), bien qu'un travail spécifique a été fait pour le traitement des données liées aux usages dans l'industrie.

**Tableau 40 : Comparaison des consommations de gaz naturel entre les approches de référence et sectorielle, avec ou sans considération des écarts statistiques des bilans de l'énergie, et avec ou sans considération des écarts dues aux pertes de distribution**

| | Consommations | | |
|---|---|---|---|
| GASEOUS | avec écart statistique | sans écart statistique avec pertes de distribution | sans écart statistique sans pertes de distribution + ajout stations de |
| 1990 | -5.8% | 0.2% | 0.00% |
| 1991 | -2.0% | 0.2% | 0.00% |
| 1992 | -0.4% | 0.3% | 0.00% |
| 1993 | -2.2% | 0.2% | 0.00% |
| 1994 | 2.5% | 0.4% | 0.00% |
| 1995 | -2.0% | 0.4% | 0.00% |
| 1996 | -2.0% | 0.5% | 0.00% |
| 1997 | 1.5% | 0.4% | 0.00% |
| 1998 | -2.8% | 0.4% | 0.00% |
| 1999 | 0.4% | 0.5% | 0.00% |
| 2000 | -0.2% | -0.3% | 0.00% |
| 2001 | -0.2% | -0.3% | 0.00% |
| 2002 | -0.1% | -0.2% | 0.00% |
| 2003 | -0.7% | -0.4% | 0.00% |
| 2004 | -0.9% | -0.8% | 0.00% |
| 2005 | -1.2% | -0.8% | 0.00% |
| 2006 | -0.6% | -0.7% | 0.00% |
| 2007 | -0.9% | -0.9% | 0.00% |
| 2008 | -1.0% | -0.2% | 0.00% |
| 2009 | 1.5% | -0.2% | 0.00% |
| 2010 | -2.8% | -0.3% | 0.00% |
| 2011 | 2.2% | -0.6% | 0.00% |
| 2012 | 2.1% | -0.4% | 0.00% |
| 2013 | 1.4% | -0.8% | 0.00% |
| 2014 | 0.9% | -0.8% | 0.00% |
| 2015 | 0.1% | -0.8% | 0.00% |
| 2016 | 0.5% | -0.8% | 0.00% |
| 2017 | -0.3% | -0.8% | 0.01% |
| 2018 | -0.7% | -0.7% | 0.02% |
| 2019 | -0.8% | -0.6% | 0.03% |
| 2020 | -0.9% | -0.6% | 0.06% |
| 2021 | -1.2% | -0.5% | 0.10% |
| 2022 | 0.0% | -0.4% | 0.16% |
| 2023 | -0.5% | -0.4% | 0.21% |

→ **Other fossil fuels** : les écarts sur les émissions et les consommations sont très faibles (0,1 % en moyenne pour les deux) comme observé sur la figure suivante. Les facteurs d'émission utilisés pour les autres combustibles fossiles pour l'approche de référence sont cohérents avec ceux de l'approche sectorielle et proviennent d'un calcul global sur les émissions et consommations agrégées de tous les autres combustibles fossiles (FE moyen évolutif variant de 61 à 74 kg $CO_2$/GJ).

**Tableau 41 : Comparaison des consommations et émissions des autres combustibles fossiles entre les approches de référence et sectorielle**

| OTHER FOSSIL FUELS | Activity data | $CO_2$ emissions |
|---|---|---|
| 1990 | 0.3% | 0.2% |
| 1991 | 0.3% | 0.2% |
| 1992 | 0.2% | 0.2% |
| 1993 | 0.2% | 0.2% |
| 1994 | 0.2% | 0.2% |
| 1995 | 0.2% | 0.2% |
| 1996 | 0.2% | 0.2% |
| 1997 | 0.2% | 0.2% |
| 1998 | 0.2% | 0.2% |
| 1999 | 0.1% | 0.2% |
| 2000 | 0.1% | 0.2% |
| 2001 | 0.1% | 0.2% |
| 2002 | 0.1% | 0.2% |
| 2003 | 0.1% | 0.2% |
| 2004 | 0.1% | 0.2% |
| 2005 | 0.2% | 0.2% |
| 2006 | 0.0% | 0.1% |
| 2007 | 0.0% | 0.1% |
| 2008 | 0.0% | 0.0% |
| 2009 | 0.0% | 0.0% |
| 2010 | 0.0% | 0.0% |
| 2011 | 0.0% | 0.0% |
| 2012 | 0.0% | 0.0% |
| 2013 | 0.0% | 0.0% |
| 2014 | 0.0% | 0.0% |
| 2015 | 0.0% | 0.0% |
| 2016 | 0.0% | 0.0% |
| 2017 | 0.0% | 0.0% |
| 2018 | 0.0% | 0.0% |
| 2019 | 0.0% | 0.0% |
| 2020 | 0.0% | 0.0% |
| 2021 | 0.0% | 0.0% |
| 2022 | 0.0% | 0.0% |
| 2023 | 0.0% | 0.0% |

### 3.2.2 Soutes internationales

Dans l'inventaire des émissions de GES, celles rapportées sur les postes « soutes internationales » (hors total national) concernent les émissions relatives à l'aviation civile internationale (LTO et croisières) et au trafic maritime international basées sur les ventes de combustibles en France.

**Soutes internationales relatives à l'aviation**

Les soutes internationales relatives à l'aviation concernent les consommations de carburant des vols internationaux sur avitaillements en France.

Les émissions de GES des vols internationaux relatives à la France sont déterminées sur la base d'une méthode détaillée exploitant les bases de données trafics de la DGAC :

- pour les émissions produites au-dessous de 1 000 m sur le territoire français (cycle LTO). La méthode prend en compte les données caractéristiques moteurs de l'OACI,
- pour les émissions internationales au-dessus de 1 000 m (croisières internationales / contribution française), les émissions de la Métropole sont calées sur un solde de consommation de combustibles : vente totale de carburant en France diminuée de la consommation des vols domestiques, des consommations des LTO des vols internationaux et domestiques sur le sol français puis des consommations des croisières internationales des territoires d'outre-mer. Les statistiques de vente de carburants pour l'aviation ne distinguent pas les soutes internationales et les ventes pour le trafic domestique. Pour les territoires d'outre-mer, il peut arriver que les ventes de carburants soient plus faibles que les consommations du modèle. Cette différence s'explique par des escales de ravitaillement dans des pays étrangers sur des trajets domestiques (effet bunkering). Ces escales ne modifient pas le vol en vol international car il n'y a pas d'échange de marchandise ni de voyageur lors de ces escales.

POINT D'ATTENTION : des différences sont observées entre les données des soutes de l'aviation données par l'AIE et les données de l'inventaire (Table CRT 1.D) du fait de plusieurs raisons :

- Les PCI utilisés par l'AIE et ceux utilisés dans l'inventaire peuvent être légèrement différents,
- Les périmètres géographiques considérés sont différents : l'AIE considère uniquement la Métropole alors que les tables CRT concernent le périmètre France UE (Métropole + DOM) ou le périmètre CCNUCC (Métropole + DOM + COM). Ainsi, les consommations des soutes internationales pour l'aviation sont toujours plus importantes au format AIE qu'au format de l'inventaire national. En effet, dans ce dernier, une partie des consommations considérées comme internationales par l'AIE (prise carburant pour l'Outre-mer) est considérée comme trafic national dans l'inventaire car ayant lieu entre deux points du territoire français.

**Soutes internationales relatives au transport maritime**

Concernant le transport maritime international (entre un port français et un port étranger), les consommations sont estimées à partir de statistiques de ventes en France métropolitaine pour les soutes maritimes. Ces statistiques distinguent les soutes françaises et internationales en fonction du pavillon du navire, sachant que les navires étrangers autorisés à transporter pour le compte d'affréteurs français sont pris en compte avec les soutes françaises.

La répartition du trafic entre liaisons nationales et internationales est complexe à établir car les données existantes ne permettent pas d'en faire durablement la distinction. L'absence de données détaillées concernant la part des ventes des soutes maritimes affectée au trafic domestique au regard de celles affectées au trafic international est palliée les hypothèses détaillées ci-après, établie selon une procédure de type bottom-up.

En principe deux composantes contribuent aux émissions de la navigation maritime domestique :

- La part des « soutes maritimes françaises » (c'est-à-dire à destination des pavillons français) dont les consommations de carburant correspondent à des liaisons entre deux ports français (cabotage ou escale technique) ;
- La part des « soutes maritimes étrangères » (c'est-à-dire à destination des pavillons étrangers) dont les consommations de carburant correspondent à des liaisons entre deux ports français (cabotage ou escale technique).

En 2016, la CCNUCC, lors de la revue [13] de l'inventaire français des émissions de gaz à effet de serre, a demandé que le ratio de consommation domestique des soutes soit mis à jour (régulièrement). En 2023-2024, l'accès à des données AIS[14] (positionnement des navires) de l'année 2019 et des données de la Lloyd's [1339] (caractéristiques techniques des navires), via le Cerema avec l'autorisation de la DGAMPA, a ouvert la possibilité d'un calcul ascendant très détaillé des consommations des différents carburants utilisés par les navires réalisant des trajets domestiques et internationaux à destination et en provenance de la France métropolitaine.

Le principe mis en œuvre est d'utiliser les données AIS des navires naviguant autour de la France métropolitaine et d'en extraire les trajets domestiques et internationaux à destination et/ou en provenance de France métropolitaine. Pour cela, un algorithme, basé sur l'algorithme du plus proche voisin, a été développé. Cet algorithme consiste à détecter les navires dans les ports français et étrangers, et ne sélectionner que les trajets métropole-métropole sans escale intermédiaire dans un port étranger.

Il y a deux sortes de trajectoires domestiques :

- Celle associée aux navires faisant exclusivement des trajets entre 2 ports français sans jamais aller ou venir d'un port étranger.
- Celle associée aux navires faisant un ou des trajets entre 2 ports français lors d'un trajet international en provenance ou à destination d'un port étranger.

Dans le cadre de l'inventaire national, seules les positions appartenant au premier point ci-dessus ont été gardées pour les calculs. Cette hypothèse a été prise pour être sûr que les navires avitaillent en France et non à l'étranger et pouvoir comparer les consommations calculées aux ventes des soutes.

En chaque position de ces trajets domestiques, pour chaque navire, en ayant récupéré ses caractéristiques (type, pavillon, puissance des moteurs, motorisation, carburant principal, etc.), il est possible d'appliquer une consommation spécifique (issue du 4ème rapport sur les émissions de GES de l'OMI [1221]) pour chaque moteur (principal, auxiliaire et chaudière) en fonction des facteurs de charge instantanés respectifs à chaque moteur pour calculer la consommation du carburant (Diesel Marine Léger – DML – , fioul lourd – FOL – et gaz naturel liquéfié – GNL) utilisé.

$$Consommation\ (type\ de\ navire, pavillon, motorisation, carburant, position\ ) = \sum_{moteur} Consommation\ spécifique(type\ de\ navire, carburant, motorisation) x\ puissance_{moteur} \\ x\ facteur\ de\ charge_{position,moteur}\ x\ \Delta t$$

Il est alors possible de sommer les consommations par carburant et par pavillon, et de les comparer aux ventes des soutes pour l'année 2019.

$$Consommation\ (pavillon, carburant) = \sum_{position} \sum_{type\ de\ navire} \sum_{moteur} Consommation\ (type\ de\ navire, pavillon, motorisation, carburant, position\ )$$

[13] arrfra_2016_to Party for comments.pdf: ID E.25. "*The ERT encourages France to conduct a new study to update the split between domestic and international navigation in the fuel sold in metropolitan France and in the overseas territories*"

[14] Automatic Identification System : Système d'Authentification Automatique. Données fournies par le Cerema avec accord de la DGAMPA

**Figure 16 : logigramme de détermination des ratios de ventes de soutes maritimes à destination des trafics domestiques et internationaux**

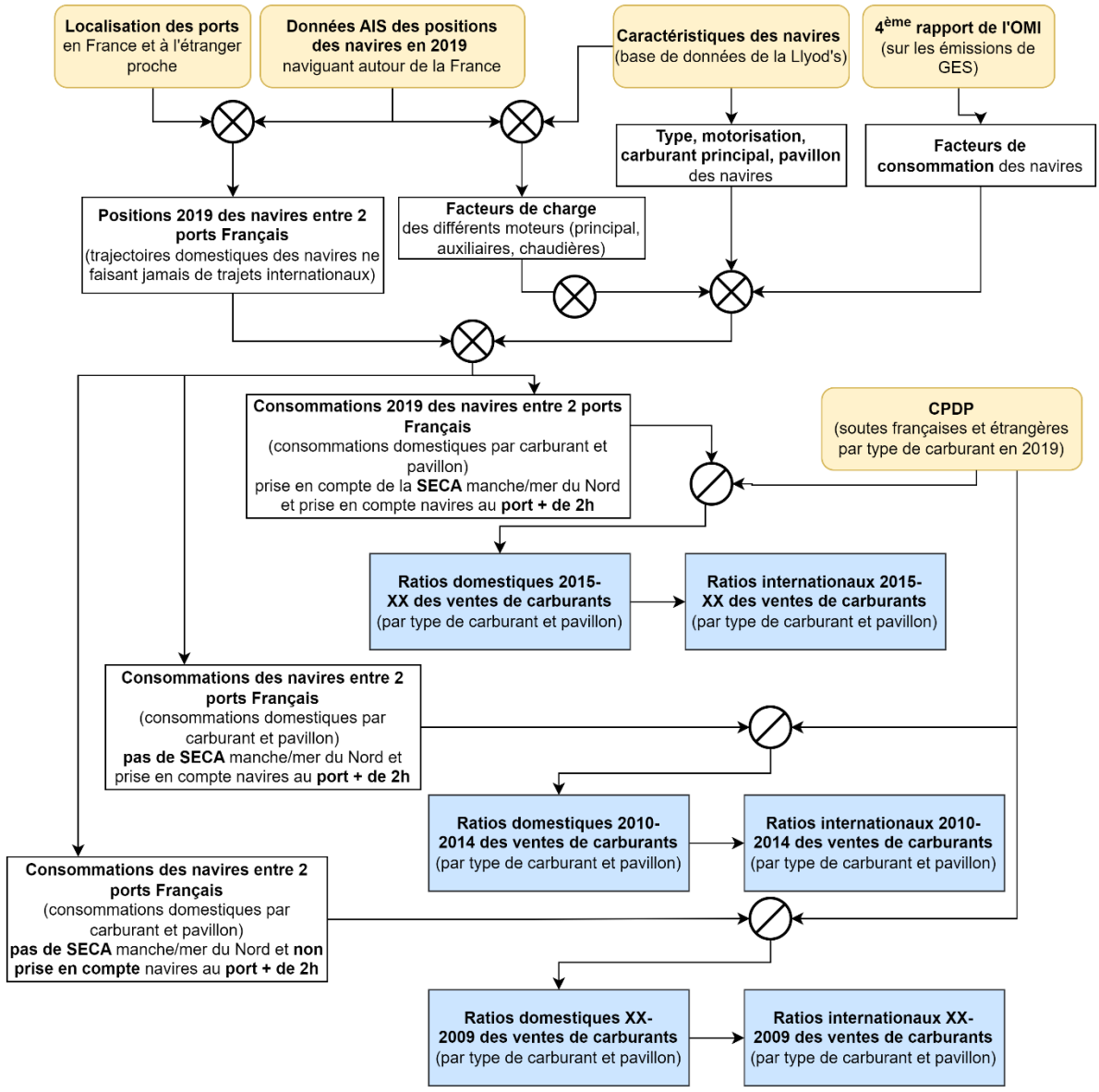



**Tableau 42 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord est une SECA.**

| Année | DML | | | FOL | | | LNG | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pavillon | | Total | Pavillon | | Total | Pavillon | Total |
| | Français | Étranger | | Français | Étranger | | Étranger | |
| Consommations (t) 2019 | 85 365 | 5 913 | 91 278 | 6 319 | 100 | 6 419 | 58 | 97 754 |
| Ventes (t) 2019 | 65 900 | 77 400 | 143 300 | 191 100 | 1 428 100 | 1 619 100 | - | 1 762 400 |
| Ratio 2019 consos / ventes | 130 % | 7,6 % | 64 % | 3,3 % | 0,01 % | 0,40 % | * | 5,6 % |

**Le GNL ne figurant pas dans les ventes de carburant en France, le ratio n'est pas calculé*

Même si pour les navires battant pavillon français, les consommations de DML sont plus importantes que les ventes de 30 %, il est considéré par la suite que la totalité des ventes est affectée à des trajets domestiques pour prendre en compte les incertitudes du calcul et le fait que des navires peuvent utiliser du FOL en utilisant des scrubbers dans la zone SECA (zone de contrôle des émissions de soufre) Manche/Mer du Nord. Le Tableau 43 récapitule les hypothèses prises pour attribuer une partie des ventes de carburants aux consommations lors des trajets domestiques et internationaux. Les ratios s'appliquent aux ventes pour les pavillons français et aux

ventes pour les pavillons étrangers. Ces ratios s'appliquent à partir de l'année 2015, date à laquelle la Manche/Mer du Nord est passée en SECA. Dans cette zone, les navires doivent utiliser un carburant dont la teneur en soufre ne dépasse pas 0,1 %.

**Tableau 43 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années à partir de 2015**

| Carburant | DML | | FOL | | LNG | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pavillon | Français | Étranger | Français | Étranger | Français | Étranger |
| Ratio 2019 Consos/ventes | 130 % | 7,6 % | 3,3 % | 0,01 % | 0 % | 0 % |
| % des ventes pour le trafic domestique | 100 % (1) | 10 % (2) | 35 % (3) | 0 % (4) | 0 % | 0 % |
| % des ventes pour le trafic international | 0 % | 90 % | 65 % | 100 % | 0 % | 0 % |

(1) 100 % = 130 % - 30 %
(2) 10 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 7,6 %
(3) 35 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de (3,3 % du FOL + 30 % du DML)
(4) 0% = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 0,01%

Comme indiqué ci-dessus, la zone SECA Manche/Mer du Nord est devenue une SECA que le 1er janvier 2015. Donc les ratios ci-dessus ne sont pas applicables aux ventes de carburants avant cette date. Pour calculer de nouveaux ratios, et sans avoir accès aux mêmes données (AIS et Lloyd's) pour une année avant 2015, il a été décidé de refaire le même type de calcul en considérant la zone comme n'étant pas une SECA. Cela signifie que les navires pouvant utiliser du fioul lourd le font.

**Tableau 44 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord n'est pas une SECA.**

| Année | DML | | | FOL | | | LNG | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pavillon | | Total | Pavillon | | Total | Pavillon | Total |
| | Français | Étranger | | Français | Étranger | | Étranger | |
| Consommations (t) 2019 | 80 013 | 5 829 | 85 842 | 11 914 | 186 | 12 100 | 58 | 97 942 |
| Ventes (t) 2019 | 65 900 | 77 400 | 143 300 | 191 100 | 1 428 100 | 1 619 100 | - | 1 762 400 |
| Ratio 2019 consos / ventes | 122 % | 7,6 % | 60 % | 6,2 % | 0,01 % | 0,75 % | * | 5,6 % |

**Le GNL ne figurant pas dans les ventes de carburant en France, le ratio n'est pas calculé*

Le Tableau 45 récapitule les hypothèses prises pour attribuer une partie des ventes de carburants aux consommations lors des trajets domestiques pour les années entre 2010 et 2014.

**Tableau 45 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années de 2010 à 2014**

| Carburant | DML | | FOL | | LNG | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pavillon | Français | Étranger | Français | Étranger | Français | Étranger |
| % des ventes pour le trafic domestique | 90 % (1) | 10 % (2) | 35 % (3) | 0 % (4) | 0 % | 0 % |
| % des ventes pour le trafic international | 10 % | 90 % | 65 % | 100 % | 0 % | 0 % |

(1) 90 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de (122 % - 30 %) (on considère que les 30% que l'on a enlevé dans le premier calcul font partie de l'incertitude)
(2) 10 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 7,6 %
(3) 35 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de (6,2 % du FOL + 30 % du DML)
(4) 0% = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 0,01%

Les données du Tableau 45 ne sont applicables qu'entre 2010 et 2014, car il y a une directive européenne [1340] qui impose aux navires d'utiliser un carburant avec une basse teneur en soufre lorsqu'ils restent plus de 2 h à quai dans les ports à partir du 1er janvier 2010. Donc les ratios précédents ne sont pas applicables aux ventes de carburants avant cette date. Pour calculer de nouveaux ratios, et sans avoir accès aux mêmes données (AIS et Lloyd's) pour une année avant 2010, il a été décidé de refaire le même type de calcul en considérant la zone Manche/Mer du Nord comme n'étant pas une SECA, et en considérant que les navires ne changent pas de carburant quand ils sont à quai plus de 2 h. Cela signifie que les navires pouvant utiliser du fioul lourd le font dans ces 2 cas.

**Tableau 46 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord n'est pas une SECA, que les navires restant plus de 2 h à quai ne changent pas de carburant.**

| Année | DML | | | FOL | | | LNG | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pavillon | | Total | Pavillon | | Total | Pavillon | Total |
| | Français | Étranger | | Français | Étranger | | Étranger | |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Consommations (t) 2019 | 76 465 | 4 749 | 81 214 | 15 463 | 1 269 | 16 732 | 58 | 97 945 |
| Ventes (t) 2019 | 65 900 | 77 400 | 143 300 | 191 100 | 1 428 100 | 1 619 100 | - | 1 762 400 |
| Ratio 2019 consos / ventes | 116% | 6,1% | 57% | 8,1% | 0,09% | 1,0% | * | 5,6% |

**Le GNL ne figurant pas dans les ventes de carburant en France, le ratio n'est pas calculé*

Le **Tableau 47** récapitule les hypothèses prises pour attribuer une partie des ventes de carburants aux consommations lors des trajets domestiques pour les années avant 2010.

**Tableau 47 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années avant 2010**

| Carburant | DML | | FOL | | LNG | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pavillon | Français | Étranger | Français | Étranger | Français | Étranger |
| % des ventes pour le trafic domestique | 85 % (1) | 10 % (2) | 40 % (3) | 0 % (4) | 0 % | 0 % |
| % des ventes pour le trafic international | 15 % | 90 % | 60 % | 100 % | 0 % | 0 % |

(1) 85 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de (116 % - 30 %) (on considère que les 30% que l'on a enlevé dans le premier calcul font partie de l'incertitude)

(2) 10 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche 6,1 %

(3) 40 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de (8,1 % du FOL + 30 % du DML)

(4) 0% = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 0,09%

Pour les Départements-Régions d'Outre-mer (DROM), les parts relatives de consommations de combustibles du trafic domestique vis-à-vis des consommations globales sont établies selon le bilan d'énergie réalisé au Citepa et après consultations des observatoires d'énergie locaux. Ces valeurs sont les suivantes :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Guadeloupe** | 100% | **Martinique** | 100% | **La Réunion** | 50% |
| **Guyane** | 50% | **Mayotte** | 31% | **Saint-Martin** | 100% |

De même pour les Collectivités d'Outre-Mer (COM), les valeurs sont les suivantes :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Nouvelle-Calédonie** | 100% | **Saint-Barthélemy** | 100% | **Wallis-et-Futuna** | 50% |
| **Polynésie française** | 50% | **Saint-Pierre-et-Miquelon** | 50% | | |

Dans l'approche de référence, les consommations maritimes internationales s'appuient sur les données de consommation Outre-mer (ci-dessus) et le bilan fourni à l'AIE. Ce bilan est au format géographique Métropole. Ainsi les consommations attribuées à l'Outre-mer sont considérées comme internationales alors qu'elles ne le sont pas en totalité si le périmètre France UE ou CCNUCC est considéré.

Toutefois, ces observations n'expliquent pas la totalité de l'écart constaté. Cette question a été discutée dans le groupe de travail sur la cohérence des bilans énergétiques et il est apparu que les pourcentages de répartition de l'avitaillement en Métropole (cf. figure ci-dessus) ne sont pas appliqués de la même manière entre le SDES et le Citepa. Cette différence reste à approfondir afin d'harmoniser les méthodes de traitement des consommations maritimes internationales.

### 3.2.3 Usages non énergétiques des combustibles

Les combustibles fossiles peuvent être consommés pour différents usages tels que la combustion pour des besoins énergétiques ou en tant que matière première, intermédiaire ou agent réducteur (usages non énergétiques).

Comme défini dans l'encadré 1.1 du Volume d'introduction pour les procédés industriels des lignes directrices du GIEC 2006, la combustion de combustible est définie comme l'oxydation intentionnelle de matière dans un appareil conçu pour fournir de la chaleur ou un travail mécanique à un procédé, ou destinée à un usage en dehors de l'appareil.

Lors des activités, les émissions peuvent se produire à la fois au stade de la combustion de combustible et du procédé industriel. Cependant, il n'est pas toujours possible, en partie pour des raisons pratiques, de rapporter séparément ces deux types d'émissions.

Dans les **lignes directrices du GIEC 2006**, la règle suivante est formulée :

> Les émissions de combustion, provenant des combustibles, obtenues directement ou indirectement des matières intermédiaires pour un procédé relevant des procédés industriels et de l'utilisation des produits seront normalement attribuées à la partie de la catégorie source dans laquelle le procédé a lieu. Ces catégories sources sont normalement en CRT 2B et 2C. Cependant, si les combustibles dérivés sont transférés pour combustion à une autre catégorie source, les émissions doivent être rapportées dans la partie correspondante des catégories sources du secteur Energie (normalement 1A1 ou 1A2).

**Dans l'inventaire français**, cette règle des lignes directrices est notamment suivie pour le vapocraquage du naphta (émissions comptabilisées dans le CRT 2B8), pour la sidérurgie sur les consommations de CMS (CRT 2C1), et pour l'usage de gaz naturel dans la production d'ammoniac (CRT 2B1).

Au niveau de chaque combustible, les distinctions sont les suivantes (cf. tables CRT « Table 1.A(d) *Sectoral background data for energy – Feedstocks, reductants and other non-energy use of fuels* pour plus de détails) :

**Combustibles solides :**

En ce qui concerne les consommations de combustibles solides (charbon et coke de charbon), elles sont toutes rapportées en tant que consommations énergétiques dans le bilan de l'énergie du SDES. Dans l'inventaire, les émissions liées à la consommation de combustibles et aux procédés, sont issues des déclarations SEQE-UE et rapportées dans le CRT 2C1, en dehors des émissions liées à la production de coke de houille qui sont rapportées en CRT 1A1c, conformément aux lignes directrices du GIEC. Ainsi, toutes les consommations de combustibles solides, y compris les gaz sidérurgiques, énergétiques ou non-énergétiques, sont inclues en CRT 2C1, et les consommations correspondantes du bilan de l'énergie ne sont donc pas considérées.

Les consommations de gaz sidérurgiques pour la production centralisée d'électricité ou dans le raffinage sont considérées dans les codes CRT relatifs (i.e., en CRT 1A1a et 1A1b).

**Combustibles liquides :**

Les *produits pétroliers* à usage non énergétique sont essentiellement consommés sur les sites pétrochimiques. Ils font l'objet d'une enquête exhaustive de la part du SDES. Environ 14 % de la consommation française de produits pétroliers est utilisée comme matière première pour la chimie organique. Cette enquête définit les quantités des différentes bases pétrolières consommées ainsi que les productions des vapocraqueurs, dont une part des produits est autoconsommée (fioul et gaz industriel issu des matières premières) à des fins énergétiques.

Dans le bilan de l'énergie français du SDES, ces autoconsommations d'énergie sont comptabilisées dans les consommations non énergétiques de produits pétroliers. L'inventaire français prend en compte ces consommations (déterminées directement à partir des déclarations annuelles des industriels) ainsi que les émissions associées dans le CRT 2B. C'est notamment le cas des émissions liées au vapocraquage du naphta dans la production pétrochimique.

Des consommations non énergétiques de coke de pétrole sont aussi considérées pour la production d'aluminium primaire (2C3) et de dioxyde de titane (2B6).

Les émissions liées à la combustion des huiles des moteurs pour les 2-temps sont prises en compte dans la catégorie CRT 1A3. Les émissions de l'utilisation d'huiles moteur dans les moteurs 4 temps sont, elles, rapportées dans la catégorie CRT 2D1. Les émissions des huiles récupérées et brûlées dans les procédés (i.e. cimenterie) sont prises en compte en CRT 1A2 et celles traitées en incinérateurs de déchets spéciaux, en CRT 5.

**Combustibles gazeux :**

Les usages non énergétiques du gaz de réseau (mélange de gaz naturel et de biométhane) pris en compte dans l'inventaire national sont ceux pour la production d'ammoniac, d'hydrogène, de chlorométhane, d'acide cyanhydrique, d'alcools oxo et de sulfure de carbone. Les émissions de $CO_2$ associées sont comptabilisées dans la catégorie CRT 2B. Conformément aux lignes directrices du GIEC, les consommations énergétiques de gaz de réseau des fours de production d'ammoniac et d'acide cyanhydrique de ces mêmes sites sont également prises en compte dans la catégorie CRT 2B. Pour les autres produits, la distinction entre consommations énergétiques (CRT 1A2) et non-énergétiques (CRT 2B) est toujours réalisée. La méthodologie appliquée est explicitée dans les sections relatives à ces secteurs.

# 3.2.4 Caractéristiques communes pour la combustion (1A)

## 3.2.4.1 Caractéristiques des combustibles (section générale)

**A – Introduction**

L'estimation des émissions de toutes les sources consommant des combustibles fossiles, de la biomasse et divers produits valorisés thermiquement, nécessite fréquemment sinon systématiquement de connaître leurs caractéristiques (composition, pouvoir calorifique, etc.).

Le terme "combustible" est utilisé par la suite pour désigner tout produit utilisé dans une installation de combustion (combustibles fossiles, biomasse, autres produits) afin de produire de l'électricité et de la chaleur.

Les caractéristiques des combustibles varient de l'un à l'autre et également au sein d'un même combustible en fonction de son origine. Par suite, certaines de ces caractéristiques évoluent dans le temps, notamment lorsque les spécifications réglementaires sont modifiées.

L'application de la règle, qui veut que l'utilisation de la meilleure donnée disponible soit privilégiée, conduit à s'intéresser au cas par cas aux caractéristiques des combustibles utilisés dans les installations considérées individuellement. Ces informations sont généralement disponibles au travers des systèmes de collecte des données (cf. déclarations annuelles des rejets de polluants). A défaut, des valeurs moyennes types peuvent pallier les éventuels défauts d'informations.

Dans le cas des secteurs regroupant un grand nombre de sources, l'approche individualisée n'est plus employée et l'utilisation de caractéristiques moyennes par défaut est à la fois la plus simple, la seule faisable et n'engendre pas des écarts très importants car il s'agit le plus souvent de petites installations utilisant majoritairement des combustibles commerciaux (fioul domestique, gaz naturel, etc.) dont les caractéristiques sont assez constantes et contenues dans des limites définies réglementairement.

**B – Pouvoir calorifique**

Le pouvoir calorifique est utilisé pour traduire les quantités de combustibles en unité énergétique à partir des quantités exprimées en masse ou en volume[15] lorsque ces quantités ne sont pas déjà exprimées dans une unité d'énergie. Parmi les unités les plus rencontrées dans les données disponibles se trouvent :

**Tableau 48 : Equivalence des unités d'énergie courantes**

| Unité | Symbole | Equivalence Joules | Multiples les plus usités |
|---|---|---|---|
| tonne équivalent pétrole | tep | 41,868 GJ | ktep, Mtep |
| Watt heure PCI | Wh | 3600 J | kWh, MWh, GWh |
| Joule | J | 1 J | MJ, GJ, TJ |
| Thermie | th | 4,18 MJ | kth |
| Calorie | cal | 4,18 J | kcal |

k (kilo) = $10^3$ M (Mega) = $10^6$ G (Giga) = $10^9$ T (Tera) = $10^{12}$

Si disponible, le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) spécifique à l'installation concernée est utilisé.

A défaut et pour les ensembles statistiques considérés globalement, des valeurs moyennes de PCI sont utilisées. Ces valeurs ont été retenues en tenant compte des informations disponibles au niveau international [137]. Elles s'appliquent donc aussi bien pour la Métropole que pour l'Outre-mer.

Le tableau suivant présente les pouvoirs calorifiques inférieurs (PCI) nationaux qui sont mis en œuvre dans les inventaires d'émission nationaux lorsque l'information n'est pas disponible par ailleurs (au niveau des sites notamment).

**Tableau 49 : Nomenclature des combustibles et PCI associés**

| Code combustible (NAPFUEc) | Désignation | MJ / kg | Source |
|---|---|---|---|
| 101 | Charbon à coke | 26 | [1] |
| 102 | Charbon vapeur | 26 | [1] |

[15] Le SNIEBA utilise le système d'unité international en vigueur. Relativement à l'énergie, le "joule" (J) et ses multiples (kJ, MJ, GJ, etc.) sont utilisés.

| Code combustible (NAPFUEc) | Désignation | MJ / kg | Source |
|---|---|---|---|
| 103 | Charbon sous-bitumineux | 20 | [moyenne des PCI déclarés par les installations GIC en 2002] |
| 104 | Aggloméré de houille | 32 | [1] |
| 105 | Lignite | 17 | [1] |
| 106 | Briquette de lignite | 17 | [1] |
| 107 | Coke de houille | 28 | [1] |
| 108 | Coke de lignite | 17 | [1] |
| 110 | Coke de pétrole | 32 | [3] |
| 111 | Bois et assimilé | 18,0 | [634] |
| 116 | Déchets de bois | 18,0 | Analogie avec 111 |
| 117 | Déchets agricoles – Farines animales | 18,2 | [8] |
| 118 | Boues d'épuration | 5 | [19] |
| 203 | Fioul lourd (tous types) | 40 | [1] |
| 204 | Fioul domestique | 42,6 | [1] |
| 205 | Gazole et Gazole Non Routier | 42,6 | [1] |
| 206 | Kérosène ou Pétrole lampant | 43 | [1] |
| 208 | Essence automobile (avec et sans plomb) | 44 | [1] |
| 209 | Essence aviation | 44 | [1] |
| 210 | Naphta | 45 | [9] |
| 212 | Huile de moteur à essence | 42 | Analogie avec 219 |
| 219 | Autres lubrifiants | 42 | [1] |
| 222 | Bitumes | 40,2 | [9] |
| 224 | Autres produits pétroliers (graisses, ...) | 40,2 | [9] |
| 301 | Gaz naturel | évolution annuelle | [2, 3] |
| 31B | Biométhane | | |
| 302 | Gaz naturel liquéfié / Gaz naturel véhicule (GNV) | 49,6 | Analogie avec 301 de type H |
| 303 | Gaz de pétrole liquéfié (GPL) / Gaz de pétrole liquéfié carburant (GPLc) | 46 | [1] |
| 304 | Gaz de cokerie | 31,5 | [3, 6] |
| 305 | Gaz de haut fourneau | 2,3 | [3, 6] |
| 312 | Gaz d'aciérie | 6,9 | [6] |
| 313 | Hydrogène | 120 | [3 – tableau VIII] |

**C - Teneur en carbone**

La teneur en carbone varie d'un type de combustible à l'autre et également de façon parfois significative au sein d'un même type.

L'émission de $CO_2$, produit fatal de la combustion avec la vapeur d'eau est en très grande partie liée à la teneur en carbone du combustible.

Le pouvoir calorifique est lui-même dépendant de la teneur en carbone ainsi que de la teneur en hydrogène. Il en résulte que la dispersion des facteurs d'émission de $CO_2$ rapportés à la quantité d'énergie consommée est bien moindre que lorsqu'ils sont rapportés à la masse ou au volume consommé, ce qui réduit l'incertitude associée à l'estimation des émissions. Cette dispersion réduite justifie généralement, pour les combustibles classiques dont les caractéristiques sont relativement constantes, de ne pas rechercher systématiquement la teneur en carbone des produits par une analyse comme cela s'avère parfois judicieux pour le soufre vis-à-vis de certains combustibles. Sauf produits particuliers comme certains déchets, les valeurs évoluent peu d'une année sur l'autre et peuvent généralement être transposées sans précaution particulière. Les facteurs d'émission nationaux de $CO_2$ sont présentés dans la section générale énergie.

Il en résulte que les facteurs d'émission de $CO_2$ sont généralement utilisés pour les installations de combustion quels que soient : l'année, le secteur et le type d'équipement.

Dans le cas des installations soumises au système d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre (SEQE ou EU-ETS), selon leurs niveaux d'émission, des mesures précises de la teneur en carbone du combustible utilisé sont exigées. Ces facteurs d'émission spécifiques sont utilisés dans l'inventaire.

Parmi les cas particuliers, il convient de noter que la teneur en carbone dans les déchets ménagers varie au cours des années. La part du carbone d'origine fossile est elle-même variable et ne représente qu'une fraction de la teneur en carbone des déchets. Se reporter aux sections spécifiques relatives à l'incinération.

Attention, il y a lieu d'estimer séparément le $CO_2$ issu de certains phénomènes concomitants tels que la décarbonatation et d'autres qui se rencontrent avec certains procédés industriels (cf. sections relatives aux sous-catégories du CRT 2).

### 3.2.4.2 Facteurs d'émission par combustible (section générale)

Les émissions des sources liées à l'utilisation de l'énergie sont déterminées :

- soit à partir d'une approche individuelle des sources appliquée aux grandes sources ponctuelles pour lesquelles on dispose de données par le biais de diverses enquêtes : déclarations annuelles des émissions de polluants dans l'atmosphère, inventaire des Grandes Installations de Combustion (GIC), etc. La mesure directe des émissions ou les estimations spécifiques établies par bilan, corrélation, voire facteurs d'émission sont prises en compte dans la mesure où tout ou partie des éléments de l'estimation traduisent une spécificité de l'installation considérée. Ces données sont en partie validées par les vérificateurs agréés dans le cas des émissions de $CO_2$ entrant dans le champ du système d'échange des quotas (SEQE) et en tout état de cause dans tous les cas par les autorités locales (DRIRE/D(R)EAL) et nationales (Ministère en charge de l'Environnement) ainsi que par le Citepa au travers des procédures de vérification liées à l'établissement des inventaires d'émissions (cf. section relative aux incertitudes).

  En règle générale, l'information et par suite l'estimation découlant de la mesure des émissions sont retenues en priorité. Corrélations et bilans viennent ensuite. Ces derniers sont généralement à l'origine d'estimations assez précises pour certaines substances ($SO_2$, $CO_2$, HCl) dès lors que leur rétention éventuelle dans les équipements thermiques y compris les dispositifs d'épuration (dépoussiérage, désulfuration, déchloruration) n'altère pas la pertinence de cette approche.

- soit à partir de données statistiques globales et de facteurs d'émission choisis par des experts des secteurs concernés en tenant compte de l'état courant des connaissances. Des hypothèses relatives à la structure énergétique, du parc d'équipement voire aux conditions d'exploitation sous-jacentes. Ces éléments peuvent évoluer au cours du temps.

Les émissions sont donc déterminées au moyen de l'une des trois formules suivantes :

- Mesure :

$$E_s = \int_{t1}^{tn} C_s \times Q_v \times dt \quad (1)$$

avec :

$E_s$ : émission de la substance s (en unité massique)
$C_s$ : concentration de la substance s dans les effluents rejetés à l'atmosphère (en unité massique/$Nm^3$)
$Q_v$ : débit volumique d'effluents rejetés à l'atmosphère (en $Nm^3/h$)
t, $t_1$...$t_n$ : intervalles de temps relatifs à $C_s$ et $Q_v$ (en h).

- Bilan matière:

$$E_s = \sum_{f=1}^{f=n} Q_f \times T_{c,f} \times F_{c,f} \times \left(1 - R_{c,f}\right) \times \frac{M_s}{M_c} \quad (2)$$

avec :

$E_s$ : émission de la substance s (en unité massique)
$Q_f$ : quantité de combustible f consommé (en masse)
$T_{c,f}$ : teneur massique du composé c dans le combustible f (valeur comprise entre 0 et 1)
$F_{c,f}$ : facteur d'oxydation du composé c pour le combustible f
$R_{c,f}$ : rétention du composé c pour le combustible f dans l'installation (valeur comprise entre 0 et 1)
$M_s$ : masse molaire de la substance s
$M_c$ : masse molaire du composé c conduisant à la substance s (exemple $S \rightarrow SO_2$, $C \rightarrow CO_2$).

- Facteur d'émission :

(3)

$$E_s = \sum_{f=1}^{f=n} Q_f \times PCI_f \times FE_{s,f}$$

avec :

$E_s$ : émission de la substance s (en unité massique)
$Q_f$ : quantité de combustible f consommé (en masse)
$PCI_f$ : pouvoir calorifique inférieur du combustible f (en unité énergétique/unité massique)
$FE_{s,f}$ : facteur d'émission de la substance s pour le combustible f (en unité massique de polluant/unité énergétique)

Dans le cas du $CO_2$, le facteur d'émission peut englober le facteur d'oxydation (cas des facteurs d'émission nationaux). Dans le cas d'utilisation de facteurs d'émission spécifiques, un facteur d'oxydation est pris en compte le cas échéant. Les facteurs d'oxydation appliqués sont ceux préconisés par le GIEC et les Nations unies.

***Emissions de $CO_2$***

**A. Cas général (hors agro-carburants)**

Généralement, la méthode du bilan matière est utilisée car d'une très bonne précision relative (formule 2 de la section précédente).

Conventionnellement, il est d'usage de déterminer le $CO_2$ dit "ultime", c'est-à-dire le $CO_2$ correspondant à toutes les formes d'oxydation (CO notamment) qui s'observent généralement à des concentrations très inférieures à celles du $CO_2$ dans les gaz de combustion (sauf exception comme les sources mobiles à essence non catalysées ou certains foyers ouverts où la combustion est beaucoup moins bien maîtrisée).

L'interdépendance de la teneur en carbone et du PCI conduit à une faible dispersion des facteurs d'émission de $CO_2$ y compris en tenant compte du facteur d'oxydation.

En l'absence actuellement de dispositif de récupération du $CO_2$ sur les installations de combustion, l'estimation des émissions de $CO_2$ au moyen de la formule du bilan (2) est équivalente à la formule du facteur d'émission (3) tout en restant aussi pertinente (cf. section précédente pour les formules).

Sauf dans le cas d'utilisation de facteurs d'émission spécifiques et dûment justifiés (exemple de certaines déclarations annuelles dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission), les facteurs d'émission de $CO_2$ nationaux sont appliqués de façon identique à toutes les installations consommatrices de combustibles.

Ces facteurs d'émission présentés dans le tableau ci-après résultent d'une compilation de données plus ou moins nombreuses selon les types de combustibles. Les valeurs recommandées par le GIEC sont parfois légèrement différentes, mais il convient de rappeler que les valeurs du GIEC sont des moyennes internationales qui ne sont pas nécessairement représentatives de la spécificité d'un pays donné, donc du cas français et que l'utilisation de données spécifiques nationales voire spécifiques de chaque installation est encouragée sous réserve de justification.

Dans le cas du facteur d'émission $CO_2$ du gaz naturel (NAPFUE 301), celui-ci est déterminé à partir des données du réseau de transport de la majorité de l'acheminement du gaz en France métropolitaine (interconnexions gazières aux frontières et terminaux méthaniers GRTgaz) [1210] :

Les facteurs d'émission de $CO_2$ des combustibles considérés comme de la biomasse (bois et assimilés, déchets agricoles, biogaz, biométhane, etc...) ne sont pas nuls. Les émissions induites sont rapportées, pour information, distinctement des émissions de $CO_2$ fossiles.

Le fioul domestique (NAPFUE 204) et le gazole (NAPFUE 205) sont considérés comme des combustibles similaires utilisés dans des secteurs différents et pouvant être soumis à une fiscalité spécifique. Les mesures présentées ci-après pour déterminer le facteur d'émission du $CO_2$ pour le gazole/GNR sont donc également valables pour le fioul domestique.

A la date de la mise à jour du rapport, les valeurs présentées ci-dessous sont la plupart du temps identiques aux facteurs d'émission par défaut officiellement retenus par les autorités françaises dans le cadre du système d'échanges de quotas d'émissions de gaz à effet de serre (cf. arrêté du 31 octobre 2012 [525]). Pour les sites réalisant des mesures du contenu en carbone de leurs combustibles dans le cadre du système de quotas, les valeurs spécifiques sont prises en compte dans l'inventaire.

Les facteurs d'émission nationaux sont applicables aussi bien en Métropole qu'en Outre-mer.

**Tableau 50 : facteurs d'émission $CO_2$ utilisés dans les inventaires d'émission nationaux**

| Code NAPFUEc | Désignation | Intervalle sectoriel observé dans l'inventaire depuis 1990<br>kg $CO_2$ / GJ y compris facteur d'oxydation | Valeur nationale | Source |
|---|---|---|---|---|
| 101 | Charbon à coke | [91 – 102] | 94,6 | [638] |
| 102 | Charbon vapeur | [88 – 100] | 94,6 | [638] |
| 103 | Charbon sous-bitumineux | [87 – 102] | 96,1 | [638] |
| 105 | Lignite | [97 – 101] | 101 | [638] |
| 107 | Coke de houille | [103 – 112] | 107 | [638] |
| 110 | Coke de pétrole | [88 – 97] | Variable selon les années | - |
| 111 | Bois et assimilé | [80 – 128] | 96,8 (rapporté pour information) | [766] |
| 115 | Déchets industriels | [21 - 183] | Variable selon les années | [19] |
| 116 | Déchets de bois | [92 – 107] | 96,8 (rapporté pour information) | Idem bois (111) |
| 117 | Déchets agricoles | [69 – 123] | 99 (rapporté pour information) | [765] |
| 118 | Boues d'épuration | [37 – 179] | 110 (rapporté pour information) | [50] |
| 203 | Fioul lourd HTS / BTS / TBTS | [70 – 87] | 78 | Moyenne calculée selon %S et FE de [3] |
| 204 | Fioul domestique | [67 – 84] | 74,52 | Idem Gazole (205) |
| 205 | Gazole / GNR | - | 74,52 | Cf. méthode décrite ci-dessous |
| 206 | Kérosène ou Pétrole lampant | [72 - 74] | 73,5 | [682] |
| 208 | Essence | Cf. méthode décrite ci-dessous | | |
| 214 | Solvants usagés | [72 - 86] | 82,3 | Moyenne des FE déclarés 2014-2019 [19] |
| 215 | Liqueur noire | - | 95,3 (rapporté pour information) | [638] |
| 222 | Bitumes | [84 - 96] | 80,7 | [638] |
| 224 | Autres produits pétroliers (graisses, etc.) | [50 - 87] | 73,3 | [638] |
| 301 | Gaz naturel type H (Lacq) / B (Groningue) | [52 - 59] | Variable selon les années | [1210] |
| 31B | Biométhane | Cf. gaz naturel ci-dessus | | |
| 303 | Gaz de pétrole liquéfié | [51 - 71] | 63,1 | [638] |
| 304 | Gaz de cokerie | [39 - 46] | 45,6 | [50] |
| 305 | Gaz de haut fourneau | [196 - 317] | 274,1 | [50] |
| 308 | Gaz de raffinerie / pétrochimie | [50 - 75] | 57,6 | [638] |
| 309 | Biogaz | [57 - 110] | Variable selon %$CH_4$<br>95,4 par défaut | [1112] |
| 312 | Gaz d'aciérie | [189 – 190] | 188,7 | [50] |

En ce qui concerne la consommation de biométhane intégré au sein du gaz naturel consommé, celle-ci est déterminée à partir du bilan énergétique national [1] et du panorama des gaz renouvelables [1112]. Il est pris en compte pour chaque secteur consommateur de gaz naturel, que ce soit pour un usage énergétique ou non-énergétique. L'évolution du taux national de biométhane injecté sur le réseau est le suivant :

**Tableau 51 : Evolution du taux moyen national de biométhane (NAPFUE 31B) dans le gaz de réseau, en %, depuis 1990**

| Année | Taux moyen national de biométhane |
|---|---|
| 1990-2011 | - |
| 2012 | 0,001% |
| 2013 | 0,003% |
| 2014 | 0,007% |
| 2015 | 0,018% |
| 2016 | 0,043% |
| 2017 | 0,082% |

| | |
|---|---|
| 2018 | 0,150% |
| 2019 | 0,254% |
| 2020 | 0,490% |
| 2021 | 0,907% |
| 2022 | 1,624% |
| 2023 | 2,414% |

*Cas particulier des facteurs d'émission de $CO_2$ liés à la combustion du gazole/GNR (NAPFUE = 205) et de l'essence (NAPFUE = 208)*

Chaque année, la DGEC (Direction générale de l'énergie et du climat) fait réaliser des contrôles de la qualité des carburants en stations-service. Ces contrôles ont pour support la directive européenne 98/70/CE modifiée par les directives 2003/17/CE, 2009/30/CE, 2011/63/CE et 2015/1513/UE.

Pour la France, (grand pays, modèle A), les prélèvements se répartissent de la manière suivante :

- 100 prélèvements de SP95 ou de SP98 par saison (été/hiver) ;
- 100 prélèvements de gazole B7 par saison (été/hiver) ;
- 100 prélèvements de SP95-E10 par saison (été/hiver) ;

La répartition des prélèvements se fait au prorata des ventes de carburants dans chaque région.

Dans chaque région, la détermination des stations-service contrôlées se fait avec un logiciel de tirage au sort aléatoire.

Les mesures des teneurs en carbone (C), oxygène (O) et hydrogène (H) des carburants (essence et gazole) vendus à la pompe ont été réalisées dans ce cadre-là, dans les stations-service des deux macro-régions suivantes :

- Zone Nord-Est : Grand Est, Bourgogne Franche-Comté et Hauts de France (22 stations),
- Zone Sud : Provence-Alpes-Côte-D'azur, Rhône-Alpes et Corse (22 stations).

Ces zones sont représentatives de la qualité des carburants vendus en France métropolitaine (vérifiée avec les analyses sur toute la France). Dans chaque macro-régions, 22 stations-service sont contrôlées en hiver et 22 autres en été, soit 88 stations-service contrôlées sur l'année.

Les prestations ont été réalisées entre le 30 janvier 2017 et le 31 mars 2017 pour la qualité hiver et entre le 15 mai 2017 et le 30 juin 2017 pour la qualité été. Les mesures des teneurs en carbone, oxygène et hydrogène ont été réparties sur chaque période et dans chaque région, soit environ une station contrôlée sur 2 :

- SP95/SP98-E5 : 23 prélèvements en hiver - 30 en été
- SP95-E10 : 23 prélèvements en hiver - 28 en été
- Gazole : 24 prélèvements en hiver - 29 en été

Les mesures ont donné les résultats suivants :

**Tableau 52 : Ratios moyens des teneurs en H, C et O, mesurés pour l'essence et le gazole, selon la saison**

| | Hiver | | Eté | |
|---|---|---|---|---|
| | $R_{H:C}$ | $R_{O:C}$ | $R_{H:C}$ | $R_{O:C}$ |
| E10 | 1,929 | 0,032 | 1,932 | 0,031 |
| E5 (SP95) | 1,918 | 0,023 | 1,878 | 0,022 |
| E5 (SP98) | 1,898 | 0,023 | 1,923 | 0,022 |
| Gazole | 1,906 | 0,007 | 1,937 | 0,007 |

A partir des mesures, les facteurs d'émission de $CO_2$ du mélange (produits pétroliers + agro-carburants) $FE_{melange_mesure}$ sont connus en appliquant la formule suivante :

$$FE_{melange_mesure} = \frac{44{,}011}{(12{,}011 + 1{,}008 \cdot R_{H:C_mesure} + 16 \cdot R_{O:C_mesure})}$$

Les facteurs d'émission de $CO_2$ des produits pétroliers $FE_{pp}$ sont recalculés en supposant que les facteurs d'émission de $CO_2$ $FE_{bio}$ et les pourcentages d'incorporation $\%_{bio}$ des agro-carburants sont connus :

$$Vente_{pp+bio} \cdot FE_{melange_mesure} = Vente_{pp+bio} \cdot (FE_{pp} \cdot \%_{pp} + FE_{bio} \cdot \%_{bio})$$

$$avec\ \%_{pp} = 1 - \%_{bio}$$

$$FE_{pp} = \frac{\left(FE_{melange_mesure} - FE_{bio} \cdot \%_{bio}\right)}{1 - \%_{bio}}$$

Les $FE_{pp}$ ont été calculés pour les carburants hiver et les carburants été. Des $FE_{pp}$ moyens (au prorata des ventes mensuelles de 2017) ont été estimés et sont les suivants :

| | Essence sans plomb | Gazole |
|---|---|---|
| $FE_{pp}$ (g $CO_2$/g carburant) | 3,189 | 3,175 |
| $FE_{pp}$ (kg $CO_2$/GJ) | 72,48 | 74,52 |

Pour obtenir le facteur d'émission de l'essence plombée, une évolution du ratio $R_{H:C}$ entre l'essence plombée et l'essence non plombée proportionnelle à l'évolution de ce ratio dans COPERT a été utilisé.

| | g $CO_2$/g carburant | kg $CO_2$/GJ |
|---|---|---|
| Essence plombée | 3,243 | 73,71 |

Les facteurs d'émission spécifiques à la France (gazole et essence) sont appliqués partout où du gazole, du GNR ou de l'essence sont utilisés, c'est à dire :

Gazole/GNR : 1.A.2/ 1.A.2.f/ 1.A.3.b/ 1.A.3.c/ 1.A.3.d/ 1.A.4.a/ 1.A.4.b/ 1.A.4.c.ii/ memo.1.D.1.b

Essence : 1.A.2/ 1.A.3.b/ 1.A.3.d/ 1.A.4.b/ 1.A.4.c.ii/ 1.A.4.c.iii

**B. Cas des agro-carburants**

L'estimation des émissions de $CO_2$ issues de la combustion des agro-carburants est réalisée en intégrant dans le calcul des émissions des différents secteurs consommant de l'essence, du gazole ou du kérosène aviation (mélanges de produits pétroliers et d'agro-carburants), les pourcentages massiques, volumiques ou énergétiques (en fonction de l'activité) d'agro-carburants ainsi que leurs facteurs d'émissions.

Pour rappel, les émissions de $CO_2$ issues des agro-carburants sont exclues du total national des émissions des gaz à effet de serre dans le cadre de la convention sur les changements climatiques.

Le bio-essence est composé d'éthanol pur et d'ETBE dont les taux d'incorporation respectifs diffèrent suivant les années. L'ETBE est obtenu à partir d'éthanol et d'isobutène (produit non biogénique), il est donc considéré que la partie biogénique de l'ETBE est équivalente à 47 % volumique d'éthanol.

Le bio-gazole est composé de différents produits (EMAG[16] et biodiesel de synthèse) dont les taux d'incorporation respectifs diffèrent suivant les années. Il est considéré que les EMAG ne sont pas entièrement composés de produits biotiques. En effet, la trans-estérification d'huile avec du méthanol conduit à ce qu'environ 5 % du bio-gazole soit non biogénique.

Etant donné que les livraisons de carburants étant fournies sont les livraisons de mélanges (essence+bio-essence, gazole+bio-gazole, kerosène+bio-kérosène), le calcul des pourcentages massiques, volumiques et/ou énergétiques d'incorporation est nécessaire afin d'extraire la partie biotique. Pour cela, les données volumiques d'agro-carburants fournies par les douanes [552] sont utilisées. Ces valeurs permettent de calculer les différents taux d'incorporation (volumique, massique et énergétique) qui seront légèrement différents de ceux diffusés par la DGEC. En effet, ces derniers sont, d'une part, calculés à partir de PCI différents de ceux utilisés dans les inventaires d'émission et, d'autre part, depuis 2010, certains agro-carburants peuvent faire l'objet d'un double comptage dans le calcul du taux d'incorporation énergétique rapporté dans le cadre de la circulaire du 9 mars 2012 relative à la TGAP17, devenue TIRIB18 en 2019 puis TIRUERT en 2022.

Les données pour calculer les facteurs d'émission de $CO_2$ de chaque agro-carburant sont issues de l'ADEME [361] ainsi que de Carbure [1274] et du CBSCI [1273].

Le facteur d'émission pour le bio essence, est le facteur d'émission de l'éthanol (seule partie bio), déterminé à partir du contenu carbone de l'éthanol (52,2 % [361]) :

FE $CO_2$ bioessence = 52,2 % x 44,011 / 12,011 = 1,913 t$CO_2$/t bioessence

[16] EMAG = Esther méthyl d'acide gras (esther méthyl d'huile végétal et esther methyl d'huile usagée)
[17] Circulaire du 9 mars 2012 relative à la taxe générale sur les activités polluantes/prélèvement sur les carburants
[18] Circulaire du 12/06/2019 relative à la taxe incitative relative à l'incorporation de biocarburants.

Le facteur d'émission pour le biogazole, est le facteur d'émission pondéré de la partie bio des EMAG du biogazole de synthèse (de formule $C_nH_{2n}$ [1022], i.e. Fisher-Tropsch).

FE $CO_2$ $EMAG_{bio}$ = 69,7 % x 44,011 / 12,011 = 2,554 $tCO_2$/t $EMAG_{bio}$

Le facteur d'émission du biogazole de synthèse est déterminé à partir du contenu carbone (considéré à 100 % bio) du produit (85,6 % [1022]) :

FE $CO_2$ bio-gazole de synthèse = 85,6 % x 44,011 / 12,011 = 3,138 t $CO_2$/t bio-gazole de synthèse

| Caractéristiques | ETBE | Ethanol | Huile de colza | Huile de tournesol | EMHV colza | EMHV Tournesol |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pci (MJ/kg) | 35.88 | 26.8 | 37.2 | 37.7 | 37.39 | 37.02 |
| Source | DIREM IFP | DIREM IFP | Sofiproteol | Sofiproteol | Sofiproteol | Sofiproteol |
| Contenu en C fossile (% massique) | 45.6% | 0% | 0% | 0% | 3.6% | 3.6% |
| Contenu en C biomasse (% massique) | 24.5% | 52.2% | 77.0% | 77.0% | 69.7% | 69.7% |

*Tableau 2 : PCI et contenu en carbone des différents produits*

Données utilisées pour la détermination des FE ([361] p15)

Les parts non bio des agro-carburants (i.e. l'isobutène de l'ETBE et le résidu de méthanol lors de l'estérification des huiles) sont calculées, et les émissions associées sont rapportées dans la ligne « Other Fossil Fuels » en utilisant les facteurs d'émission des produits pétroliers dans lesquels ils sont incorporés (i.e. essence pour l'isobutène et gazole pour le résidu de méthanol).

L'ETBE est considéré contenir 47 % d'énergie renouvelable, c'est-à-dire que 53 % est non-bio.

Les EMAG contiennent (69,7 % - 3,6 %) / 69,7 %= 94,8 % de produit bio, et donc 5,2 % de produit non bio.

**Tableau 53 : Evolution temporelle de la répartition des agro-carburants mis à la consommation entre 2005 et 2022, pour l'essence**

| Pourcentage volumique | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| %$_v$ ETBE | 97% | 70% | 57% | 43% | 43% | 36% | 21 % |
| %$_v$ Ethanol | 3,3% | 30% | 40% | 55% | 53% | 63% | 74 % |
| %$_v$ Bioessence de synthèse | 0% | 0% | 2,3% | 2,0% | 4,5% | 1,8% | 3,6 % |
| %$_v$ bio dans les agro-carburants de l'essence | 49% | 63% | 70% | 77% | 77% | 81% | 89 % |

**Tableau 54 : Evolution temporelle de la répartition des agro-carburants mis à la consommation entre 2005 et 2023, pour le gazole**

| Pourcentage volumique | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| %$_v$ *EMAG totaux* | 100% | 99% | 94% | 91% | 89% | 96% | 91% |
| %$_v$ Biogazole de synthèse | 0% | 1,1% | 5,6% | 9,2% | 11% | 4,3% | 8,6% |
| %$_v$ bio dans les agro-carburants du gazole | 94,8% | 94,9% | 95,1% | 95,3% | 95,4% | 95,1% | 95,3% |

**Tableau 55 : Evolution temporelle de la répartition des agro-carburants mis à la consommation entre 2005 et 2023, pour le kérosène**

| Pourcentage volumique | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| %$_v$ Biokérosène | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% | 100% |
| %$_v$ bio dans les agro-carburants du kérosène | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% | 100% |

L'ensemble des données relatives aux agro-carburants sont disponibles dans la base de données OMINEA.

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions dépendent des conditions d'exploitation, du type d'équipement thermique, du combustible et des dispositifs d'épuration.

Compte tenu du faible niveau des émissions, elles sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par défaut provenant du GIEC 2006 [638].

Dans le cas des installations de chauffage urbain, du secteur résidentiel et du secteur tertiaire, des facteurs d'émission spécifiques sont utilisés (se reporter aux sections correspondantes), notamment pour la biomasse.

Les facteurs d'émission présentés dans la base de données OMINEA sont utilisés pour la Métropole et l'Outre-mer.

***Emissions de $N_2O$***

Les rejets de $N_2O$ sont généralement faibles exceptés pour certains équipements tels que les lits fluidisés (par exemple dans la production centralisée d'électricité, se reporter à la section correspondante).

Les émissions de $N_2O$ sont déterminées la plupart du temps au moyen de facteurs d'émission par défaut provenant du GIEC 2006 [638].

Les facteurs d'émission présentés dans la base de données OMINEA sont utilisés pour la Métropole et l'Outre-mer.

***Emissions de Gaz fluorés***

La combustion n'engendre pas d'émission de gaz fluorés à effet de serre.

Toutefois, certaines sources associées à l'utilisation et à la distribution de l'énergie (climatisation, disjoncteurs, etc.) qui utilisent certains de ces composés constituent des émetteurs qui sont traités séparément dans les sections relatives aux codes CRT 2F.

# 3.2.5 Industrie de l'énergie (1A1)

## 3.2.5.1 Caractéristiques de la catégorie

### 3.2.5.1.1 Production centralisée d'électricité, chauffage urbain et UIDND avec récupération d'énergie (1A1a)

Les niveaux d'émissions de $CO_2$ (hors UTCATF) de la catégorie 1A1a comptent parmi les catégories clés pour tous les combustibles.

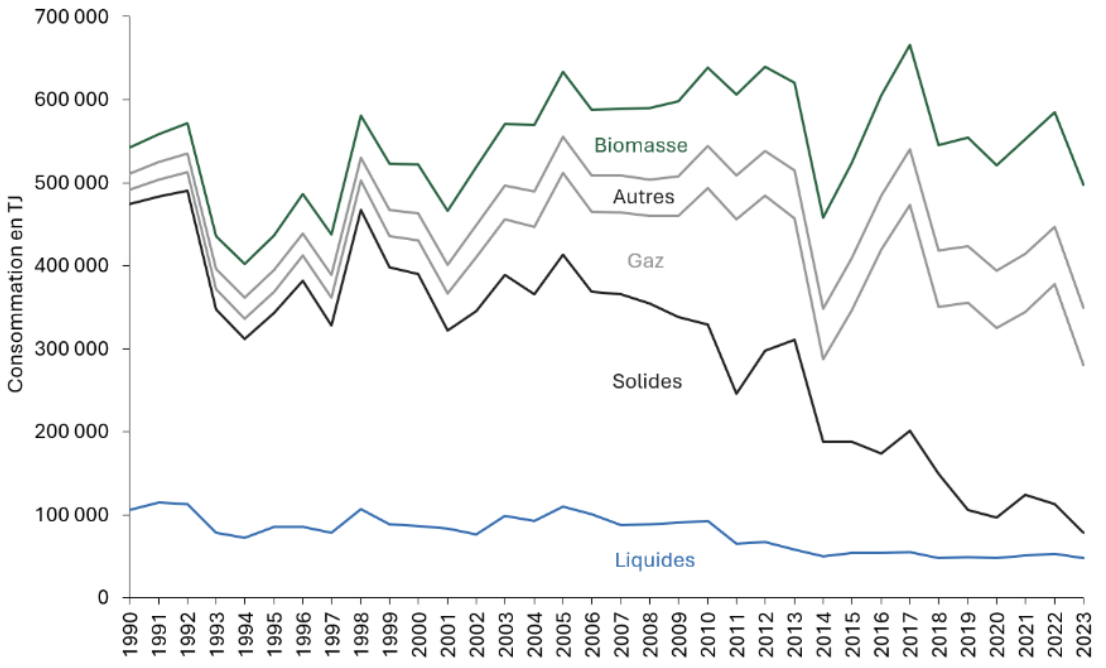
Par le $CO_2$ émis (tous combustibles confondus), ce secteur en 2023 est une source clé à 6,9 % en niveau d'émissions nationales hors UTCATF et à 19,2 % en évolution. Les sources clés en contribution au total ou à son évolution, par combustible et par substance, sont résumées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 56 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1a est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 1A1a - gas | $CO_2$ | 6ème | 3,0% | 4ème | 5,1% |
| 1A1a - other fossil fuel | $CO_2$ | 12ème | 1,9% | 10ème | 2,6% |
| 1A1a – coal | $CO_2$ | 21ème | 1,1% | 2ème | 10,5% |
| 1A1a - oil | $CO_2$ | 24ème | 1,0% | 22ème | 1,0% |

Le graphique ci-dessous présente les consommations cumulées pour la production centralisée d'électricité, le chauffage urbain ainsi que l'incinération d'ordures ménagères avec récupération d'énergie.

**Figure 17: Consommations de combustibles de la catégorie 1A1a (périmètre France UE)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Graph_1A1a_Electricite.xlsx/consos

Jusqu'en 2011, une tendance à la baisse des consommations de combustibles solides (charbon) est constatée parallèlement à une augmentation des consommations de gaz naturel, de biomasse et des « autres » (déchets). En 2012 et 2013, une hausse de la consommation des combustibles solides est observée, due essentiellement à l'augmentation de la consommation de charbon par les centrales thermiques de production d'électricité. L'exploitation massive du gaz de schiste aux Etats-Unis (exportation de charbon à bas prix) ainsi qu'un prix du quota d'émission de l'Union européenne au plus bas expliquent ce regain de consommation. Plusieurs éléments conjoncturels expliquent la chute globale de l'activité 1A1a en 2014 : la douceur historique de cette année, combinée à une production plus importante d'électricité du parc électronucléaire notamment. La chute particulière de la consommation de charbon est également due à la fermeture de plusieurs centrales électriques au charbon anticipant le renforcement des normes en termes d'émissions de polluants. A partir de 2015, les consommations repartent à la hausse, et notamment pour le gaz naturel.

De manière générale, la très forte fluctuation des consommations est directement liée à la structure de la production d'électricité en France (i.e. nucléaire, thermique à flamme, énergie renouvelable) qui varie d'une année sur l'autre ainsi qu'aux conditions climatiques, les combustibles fossiles étant essentiellement consommés pendant les périodes de pointe. L'impact des conditions climatiques est particulièrement visible sur les années 2011 ou 2014.

En 2020, année qui a été fortement marquée par la crise sanitaire liée à la pandémie de Covid-19 et par des restrictions importantes de déplacement, la consommation du secteur 1A1a a baissé de 8 % par rapport à l'année 2019, sans pour autant atteindre un niveau de consommation semblable à 2014. Un rebond de la consommation est observé en 2021, avec une hausse de 2 % par rapport à l'année 2020, et la consommation de charbon repart significativement à la hausse. L'année 2023 est marquée par une baisse significative des consommations (-15% comparé à 2022), notamment pour le charbon (-48% comparé à 2022) et le gaz (-24%), en grande partie dû à une disponibilité importante de la filière nucléaire, qui était faible en 2022 (impliquant des consommations plus élevées que les années récentes. A l'inverse, la consommation de biomasse pour la production d'électricité a augmenté de 8% entre 2022 et 2023.

**Les centrales thermiques électriques**

L'importance du parc électronucléaire de production d'électricité en France métropolitaine, complété par les moyens de production d'électricité d'origine renouvelable, ne laisse qu'une relative faible part à la filière thermique à flamme, qui ne contribue à la production d'électricité sur le territoire national qu'à hauteur de 5 à 15 %, selon l'année [34].

Selon les recommandations du GIEC, l'autoproduction d'électricité des secteurs industriels et du chauffage urbain est comptabilisée dans le secteur producteur, à savoir, respectivement, les rubriques CRT 1A2 et 1A1a.

Le tableau suivant illustre les contributions des différentes filières à la production nationale d'électricité, autoproduction comprise.

**Tableau 57 : Production brute et consommation d'électricité sur le périmètre France UE**

| | **Production brute et consommation d'électricité en TWh - France (périmètre UE)** | | | | | | | | | | | | Graph_1A1a.xls/Electricité-Fr-UE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| **Production nationale** | **573** | **573** | **582** | **573** | **579** | **564** | **562** | **582** | **571** | **532** | **555** | **475** | **525** |
| Hydraulique, éolien et photovoltaïque | 61 | 80 | 94 | 88 | 85 | 91 | 85 | 105 | 104 | 116 | 112 | 104 | 129 |
| Thermique nucléaire | 442 | 425 | 424 | 436 | 437 | 403 | 398 | 413 | 399 | 354 | 379 | 295 | 338 |
| Thermique classique | 64 | 62 | 59 | 42 | 51 | 64 | 73 | 58 | 62 | 57 | 58 | 70 | 51 |
| ***Solde des échanges*** | *-56* | *-45* | *-48* | *-67* | *-64* | *-42* | *-40* | *-63* | *-58* | *-45* | *-45* | *15* | *-50* |
| *Importations* | *10* | *12* | *12* | *8* | *10* | *20* | *21* | *14* | *16* | *20* | *24* | *52* | *25* |
| *Exportations* | *-66* | *-57* | *-60* | *-75* | *-74* | *-61* | *-61* | *-76* | *-73* | *-65* | *-69* | *-37* | *-76* |
| *Pompages et Consommation des auxiliaires* | *-22* | *-17* | *-15* | *-16* | *-15* | *-15* | *-15* | *-16* | *-15* | *-15* | *-15* | *-7* | *-6* |
| **Consommation (1)** | **495** | **511** | **519** | **489** | **501** | **507** | **507** | **503** | **498** | **472** | **495** | **472** | **458** |

*(1) Consommation intérieure ou énergie appelée, non corrigée du climat* *Source : SDES*

En Métropole, le nombre de sites concernés tend à rester à peu près stable depuis 1990, autour d'une trentaine. Les sites de la Métropole étaient majoritairement équipés de chaudières fonctionnant au charbon ou au fioul lourd. Mais, depuis 2005, cette situation évolue progressivement, avec la mise en service d'une dizaine de nouvelles centrales au gaz et la fermeture progressive des centrales au charbon et au fioul lourd. Les chaudières représentaient près de 99% de la consommation d'énergie entrante en combustible en 1990, tandis que les turbines à combustion sont depuis devenues le type d'installation prépondérant, avec désormais plus de 81% de la consommation d'énergie entrante, avec la mise en service des nouvelles centrales au gaz depuis 2005 [19, 20, 21].

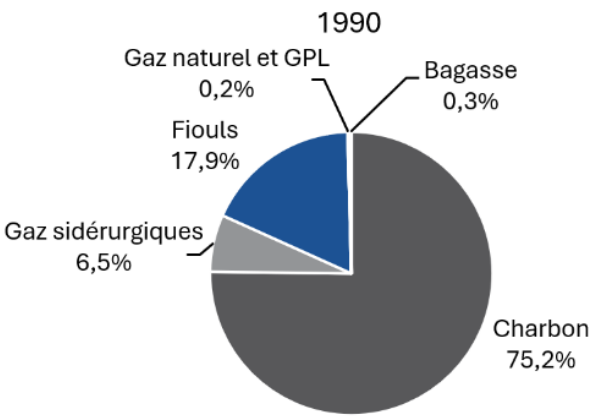
La part de biométhane consommé est retranchée de la consommation de gaz naturel à partir des données du bilan énergétique annuel [34] et des publications annuelles du panorama du gaz renouvelable [1112].

En Outre-mer, le nombre total de sites est aussi d'environ une trentaine, mais la composition du parc d'équipements est très différente de celle de la Métropole, avec une utilisation plus importante des moteurs [35, 36, 37, 38]. Un certain nombre de sites consomment de la biomasse, notamment de la bagasse (résidus de la canne à sucre) ou du bois, afin de produire de l'électricité.

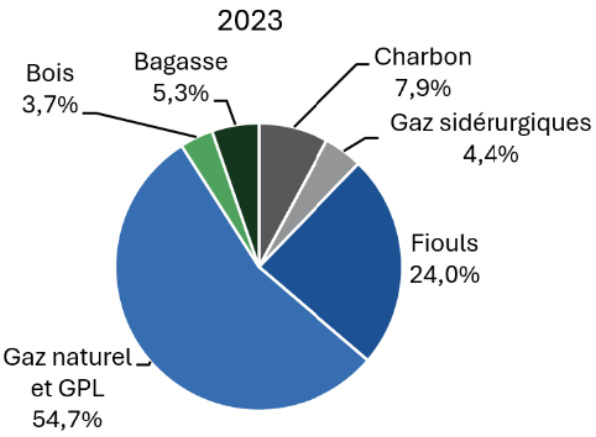
Le parc thermique français est donc constitué au total par une vingtaine de sites équipés de chaudières, une trentaine de sites équipés de turbines et près d'une trentaine de sites avec des moteurs.

Les centrales thermiques électriques ont consommé environ 5,13 Mtep d'énergie en 2023, dont 3,58 Mtep en métropole et 1,55 Mtep en Outre-Mer dans l'UE. Les figures suivantes présentent la répartition par combustible des consommations de ces installations en 1990 et en 2023.

**Figure 18: Mix de combustibles des centrales thermiques de production d'électricité (périmètre France UE)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025
Graph_1A1a_Electricite.xlsx/comb_Elec




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025
Graph_1A1a_Electricite.xlsx/comb_Elec

Depuis 1990, la part des CMS (dont gaz sidérurgique) a chuté de 81,7 % à 12,3%, au profit du fioul, dans un premier temps, puis du gaz naturel depuis 2005. La bagasse est uniquement consommée dans les territoires d'Outre-mer.

Quelques faits sont à signaler pour expliquer les tendances :

- En 2004, l'arrêt d'une tranche consommant des gaz sidérurgiques (gaz de hauts-fourneaux en particulier) a entrainé la baisse de consommation de ces gaz.
- La mise en service et la montée en puissance, depuis 2005 sur le sol métropolitain, de plusieurs turbines à combustion et cycles combinés gaz ont contribué à la hausse de la consommation de gaz naturel.
- Deux installations de production centralisée d'électricité fonctionnent avec un lit fluidisé (l'une depuis 1990 et l'autre depuis 1995) dont les émissions spécifiques de $N_2O$ sont importantes.
- L'arrêt progressif d'une partie des centrales thermiques à charbon en France métropolitaine depuis 2013 a contribué à la baisse de consommation du charbon.
- En 2022, le parc de centrales nucléaires a connu un bas niveau de disponibilité, avec de nombreux réacteurs à l'arrêt, à la suite de la découverte en 2021 d'un phénomène de fissuration par corrosion sous contrainte. Sur la même période, le prix de l'électricité a fortement augmenté pour les entreprises et les ménages, qui ont réalisé des efforts de sobriété énergétique. La baisse de la consommation d'électricité a toutefois été nettement inférieure à celle de la production nationale. L'année 2022 est donc singulière, avec une faible production d'électricité, avec un recours accru aux centrales thermiques au gaz naturel et un solde des échanges importateur.

**Les installations de chauffage urbain**

Il y a en France métropolitaine plus de 650 installations de chauffage urbain alimentant presque 1 000 réseaux de distribution (production centralisée de chaleur en vue de sa distribution à des tiers au moyen de réseaux de distribution).

Les installations ont consommé au total 1,8 Mtep d'énergies combustibles en 1990 et 2,2 Mtep en 2023. Cette consommation de combustibles est variable selon les années et dépend notamment de la rigueur climatique. Les installations de chauffage urbain peuvent aussi consommer des énergies non directement émissives comme la géothermie directe, la cogénération externe ou la chaleur fatale des UVE ou sites industriels. Cependant, on peut noter le développement de la cogénération depuis le début des années 2000, qui a accompagné la hausse du niveau de consommations comparativement à 1990 (où seule la production de chaleur existait).

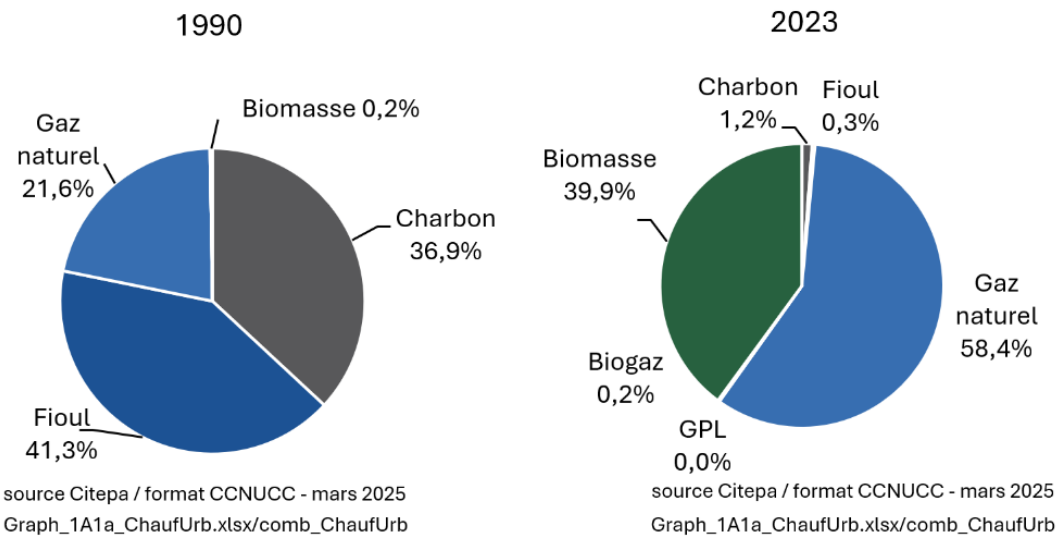
**Tableau 58 : Production du chauffage urbain en Métropole**

| | Nombre de réseaux | Chaleur vendue (GWh) | Electricité vendue (GWh) |
|---|---|---|---|
| 1990 | 366 | 22 594 | - |
| 1992 | 372 | 25 114 | - |
| 1993 | 373 | 24 840 | - |
| 1994 | 377 | 24 157 | - |
| 1995 | 379 | 23 695 | 584 |
| 1997 | 375 | 24 300 | 957 |
| 1999 | 392 | 23 846 | 1 562 |
| 2002 | 394 | 23 212 | 4 279 |
| 2005 | 391 | 24 470 | 5 307 |
| 2006 | 391 | 24 340 | 5 800 |
| 2007 | 425 | 23 133 | 5 471 |
| 2008 | 427 | 25 256 | 5 791 |
| 2009 | 432 | 24 949 | 5 064 |
| 2010 | 436 | 26 505 | 4 833 |
| 2011 | 473 | 21 807 | 4 530 |
| 2012 | 384 | 23 356 | 4 740 |
| 2013 | 411 | 24 920 | 3 921 |
| 2014 | 536 | 20 485 | 2 736 |
| 2015 | 607 | 22 769 | 3 403 |
| 2016 | 669 | 24 643 | 3 671 |
| 2017 | 761 | 25 078 | 4 263 |
| 2018 | 781 | 25 394 | 4 317 |
| 2019 | 798 | 25 560 | 3 599 |
| 2020 | 833 | 25 365 | 3 266 |
| 2021 | 898 | 29 762 | 3 519 |
| 2022 | 946 | 26 264 | 3 180 |
| 2023 | 1 000 | 26 428 | 2 808 |

source SNCU Graph_1A1a_ChaufUrb.xlsx/ChaufUrb

Depuis 1990, une baisse importante des consommations de charbon et de fioul est constatée au profit du gaz naturel, dont la contribution est passée de 22 % à 58 % de la consommation énergétique totale du secteur entre 1990 et 2023. Le recours à la biomasse se développe également de façon notable : sa contribution est passée de 0,2 % à 40 % des consommations totales entre 1990 et 2023.

**Figure 19 : Évolution du des combustibles utilisés par les installations de chauffage urbain (périmètre France UE)**



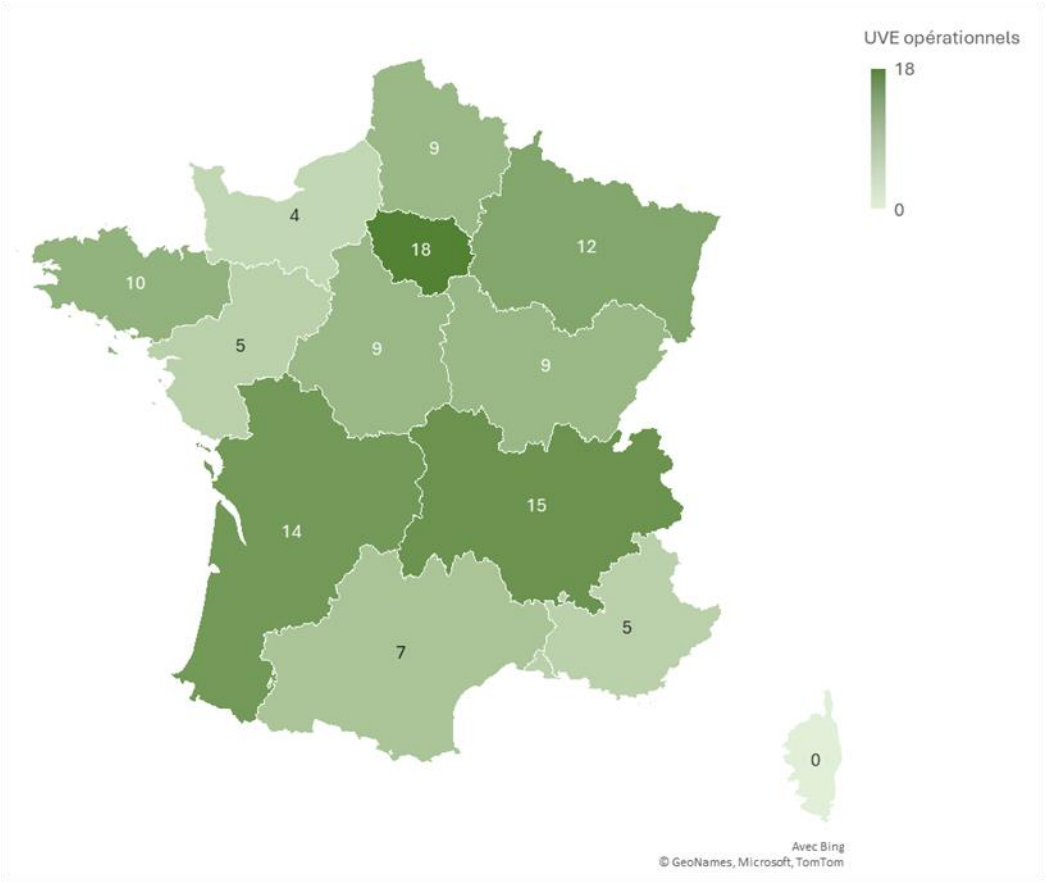

source Citepa / format CCNUCC - mars 2025
Graph_1A1a_ChaufUrb.xlsx/comb_ChaufUrb

source Citepa / format CCNUCC - mars 2025
Graph_1A1a_ChaufUrb.xlsx/comb_ChaufUrb

**Les UIDND (usines d'incinération de déchets non dangereux) avec récupération d'énergie**

Environ 120 sites d'incinération de déchets non dangereux recevant des déchets ménagers étaient recensés en Métropole dont deux sites en Outre-mer (Martinique et St Barthélemy). Parmi ces sites, près d'une dizaine sont sans récupération d'énergie, et traitent près de 50 000 tonnes de déchets [32], soit moins de 1 % des quantités totales de déchets non dangereux incinérés. L'incinération de déchets sans récupération d'énergie continue à disparaitre peu à peu au profit notamment de l'incinération avec récupération d'énergie et ne devrait plus exister à partir de 2025 [608]. En 2022, le parc d'incinérateurs des ordures ménagères couverts par l'enquête de l'ADEME faisait état de 117 sites équipés de dispositifs de récupération énergétique et seulement deux sites sans.

**Figure 20 : Parc français des installations d'incinération des ordures ménagères**




### 3.2.5.1.2 Raffinage du pétrole (1A1b)

En 2023, cette catégorie occupe les 20ème (1,1 % du total national) et 40ème rangs (0,3 %) des catégories clés pour sa contribution au niveau des émissions hors UTCATF du fait du $CO_2$ émis par les consommations de fuel et de gaz, respectivement.

Les sources clés en contribution au total ou à son évolution par combustible et par substance sont résumées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 59 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1b est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 1A1b - oil | $CO_2$ | 20ème | 1,1% | 15ème | 1,8% |
| 1A1b - gas | $CO_2$ | 42ème | 0,3% | 37ème | 0,6% |

Il y a actuellement 10 raffineries déclarant une activité en France dont une située en Martinique et une récemment reconvertie en bioraffinerie (site de La Mède, dont la plateforme a vu en 2022 la création du nouveau site de bioraffinage Ecoslops).

Les sites de raffinage ont connu des modifications de capacité au cours des années écoulées.

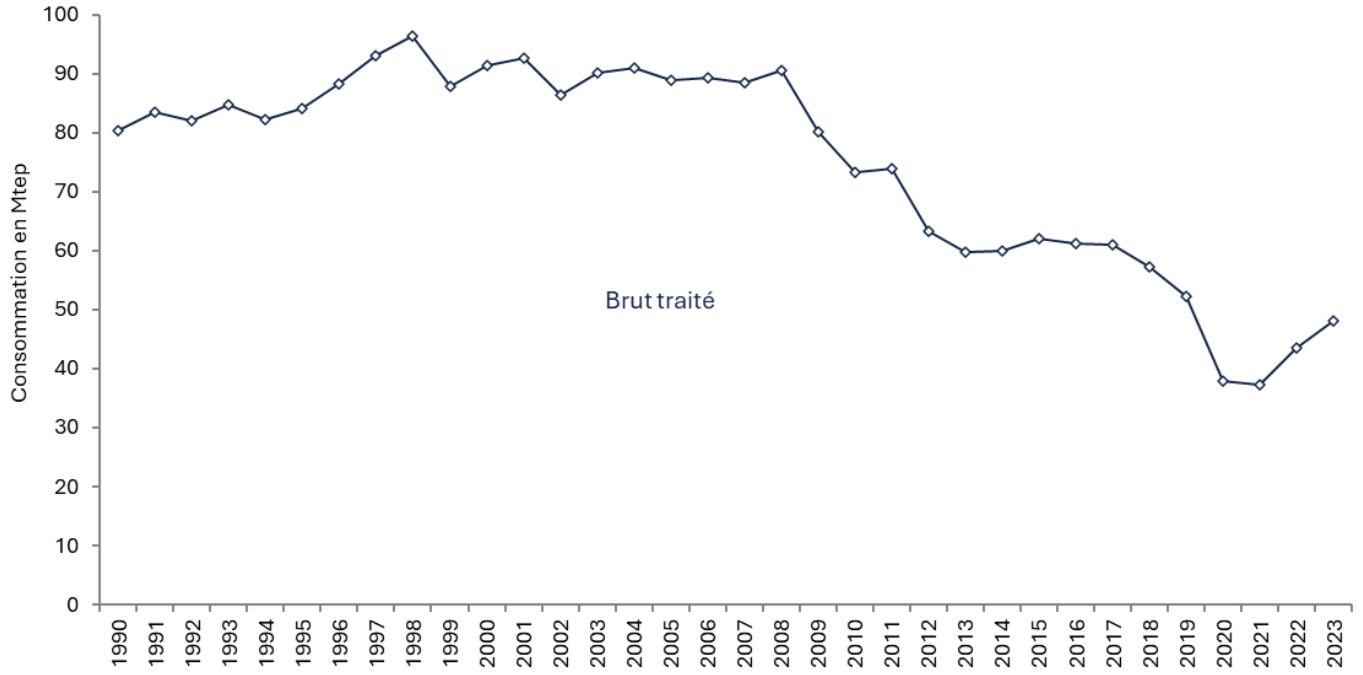
Le site de La Mède a arrêté le traitement du pétrole brut fin 2016 et a été transformé pour créer la première bioraffinerie française afin de répondre à la demande croissante en biocarburants et la future demande en biojet. La production des biocarburants du site de la Mède a démarré en juillet 2019. Un projet similaire pour le site de Grandpuits est en cours. Il est prévu que la plateforme de Grandpuits soit de nouveau opérationnelle à partir de 2025.

On notera également que :

- 9 raffineries ont fermé dans la période 1980 – 1985,
- En 2003, un site a abandonné son activité de raffinage, ne conservant que ses activités pétrochimiques,
- En 2010, la raffinerie des Flandres (Nord) a été arrêtée et reconvertie en dépôt pétrolier, en centre de formation et en centre d'assistance technique. Le démontage des unités a été réalisé jusqu'en 2013 expliquant les faibles consommations énergétiques dédiées aux utilités et déclarées de 2010 à 2013,
- En 2011, la raffinerie de Reichstett (Bas-Rhin) a arrêté son activité,
- En 2012, la raffinerie de Berre (Bouches du Rhône) a été mise en arrêt temporaire pour 2 années dans l'attente d'une reprise de site. En 2014, l'exploitant a annoncé la fermeture de la raffinerie,
- En 2013, la raffinerie de Petit-Couronne (Seine-Maritime) a fermé ses portes. Ce site est en cours de reconversion en entrepôt logistique pour le secteur du e-commerce,
- En janvier 2017, la raffinerie de Dunkerque (Nord) déclare l'arrêt définitif de ses activités.

Ces fermetures consécutives expliquent ainsi la baisse de la production de brut traité et raffiné en Métropole.

**Figure 21 : Brut traité dans les raffineries en France métropolitaine et Martinique (Périmètre France UE)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

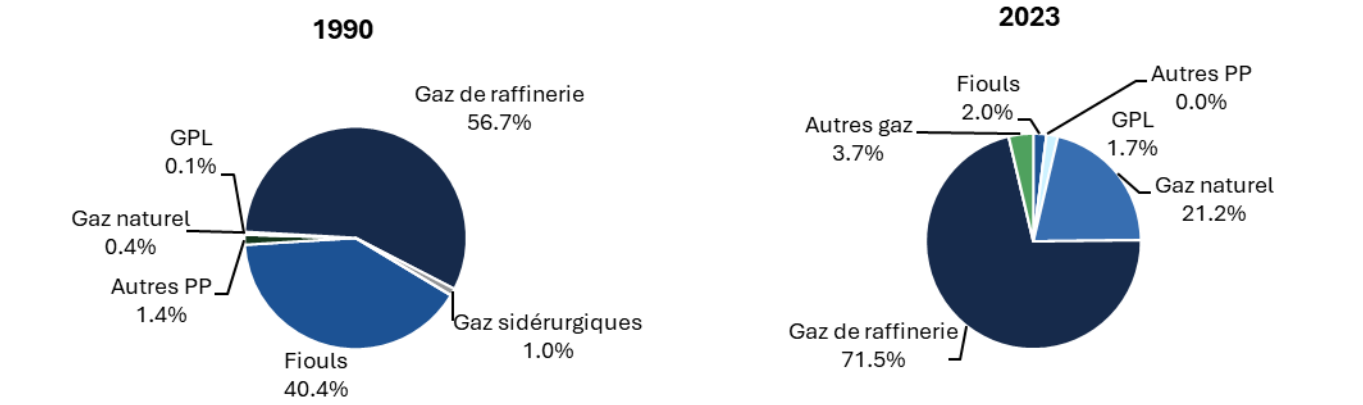
Graph_1A1b.xls/brut_traité

En 2023, la quantité de brut traité dans les raffineries françaises est de 48 Mtep contre 80 Mtep en 1990. Il est à noter que la production en Outre-mer (Martinique) est très marginale (0,8 à 1,3 % de la quantité totale de brut traité).

La quantité de brut traité a fortement chuté entre 2008 et 2010 (-19 %). Cette baisse brutale s'explique notamment par la crise économique mondiale installée courant 2008 qui a entrainé la fermeture de plusieurs sites dans les années suivant cette crise. Entre 2010 et 2012, la production a encore chuté (-14 %) à la suite de la fermeture d'autres sites. La production s'est ensuite stabilisée jusqu'en 2017 autour de 60 Mtep. Depuis 2017, on observe une reprise de la baisse de la quantité de pétrole brut traité, avec une réduction de -21 % entre 2017 et 2023. L'année de 2020, très impactée par la pandémie de la Covid-19, a vu une chute inédite de -27,5 % par rapport à 2019. Aucun effet rebond n'a été observé dans la consommation de brut traité en raffinage en 2021, et même une baisse de -1,6 % a été observé par rapport à 2020. On observe un léger rebond en 2022 et en 2023 mais qui n'atténue pas la tendance baissière de long terme.

Le creux de 1999 s'explique par une situation économique affaiblie en France (diminution de la consommation intérieure et augmentation des importations). La baisse observée en 2002 est liée aux « grands arrêts quinquennaux » pour maintenance dans 6 raffineries, entrainant une baisse d'activité.

**Figure 22 : Combustibles consommés pour le raffinage du pétrole (périmètre France UE)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Graph_1A1b.xlsx/comb

Parmi les spécificités des installations françaises, il faut noter :

- qu'un site utilise des gaz de haut-fourneau du site sidérurgique voisin, ce qui explique les émissions spécifiques importantes pour la catégorie des combustibles solides pour ce secteur,
- qu'un site a démarré une turbine à combustion en 2004 au gaz naturel, dont la pleine capacité est atteinte à partir de 2005. Cet équipement consomme plus de 80 % des quantités totales de gaz naturel allouées à ce secteur,
- parmi les combustibles dits « liquides » au sens de la CCNUCC, il faut noter la part très importante des gaz de raffinerie (plus de 50 % des consommations totales d'énergie).

#### 3.2.5.1.3 Transformation des combustibles minéraux solides et Raffinage du gaz (1A1c)

En 2023, cette catégorie occupe le 31ème rang des catégories clés pour sa contribution au niveau des émissions hors UTCATF (0,5 %) du fait du $CO_2$ émis par la consommation de charbon.

Les classements des sources clés en contribution au total ou à son évolution par combustible et par substance sont résumées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 60 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1c est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 1A1c - coal | $CO_2$ | 31ème | 0,5 % | 48ème | 0,4 % |

**Transformation des combustibles minéraux solides**

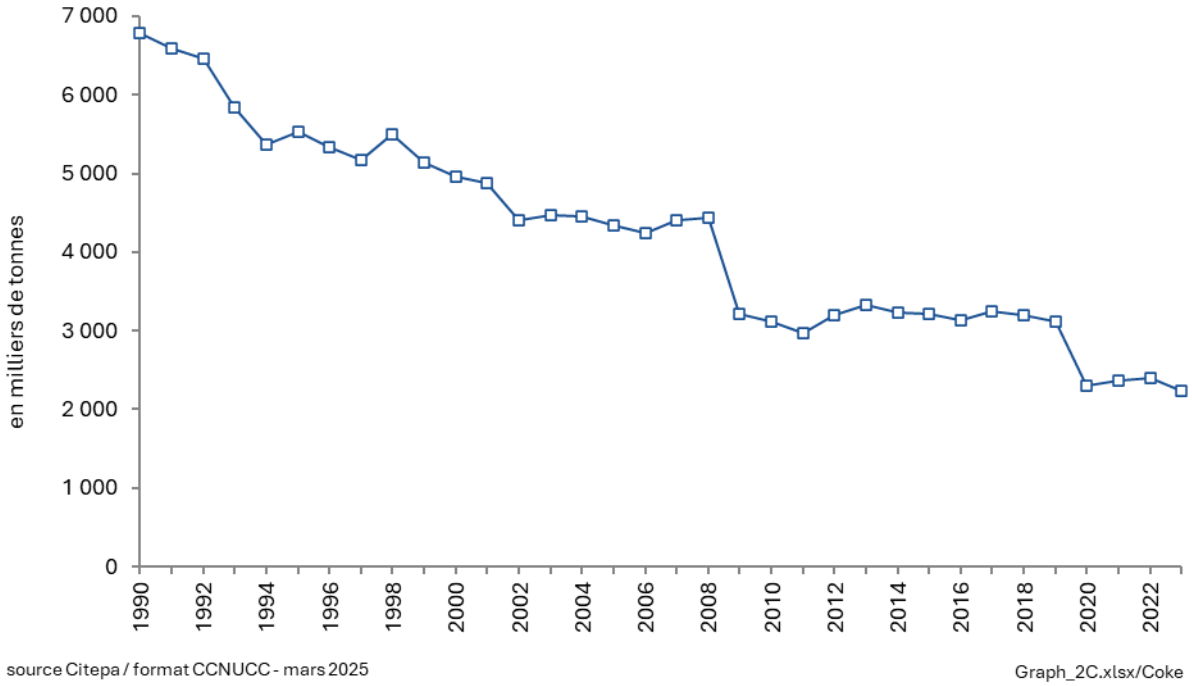
En France, la transformation de combustibles solides est pratiquement circonscrite à la production de coke dans les cokeries minières et les cokeries sidérurgiques. La liquéfaction, la gazéification et la production de combustibles défumés sont inexistantes ou marginales.

L'activité minière hors cokerie est également rapportée dans cette catégorie. Le dernier bassin a cessé toute exploitation en 2004.

Il n'existe plus de cokerie minière en France depuis fin 2009. Trois cokeries sidérurgiques (i.e. au sein des sites intégrés de fabrication d'acier) existaient jusqu'en mai 2020 en France. A partir de 2021, seules deux cokeries sidérurgiques sont recensées.

La fabrication de charbon de bois figure également parmi les activités couvertes par cette catégorie.

**Figure 23 : Production de coke en France (périmètre France UE)**




**Raffinage du gaz**

Il n'y avait qu'une seule installation de raffinage de gaz qui traitait le gaz issu du gisement de Lacq en France métropolitaine. L'activité et la consommation d'énergie de ce site ont commencé à décroitre progressivement à partir de 1996 avec l'épuisement du gisement et le site a fermé définitivement en 2014.

### 3.2.5.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/ominea

#### 3.2.5.2.1 Production centralisée d'électricité, chauffage urbain et UIDND avec récupération d'énergie (1A1a)

*Les émissions de $CO_2$ induites par les systèmes de désulfuration et de dé-NOx sont prises en compte respectivement dans les catégories CRT 2A4 et 2D3.*

**Les centrales thermiques électriques**

La méthode appliquée est de rang GIEC 2 voire 3 pour le $CO_2$ du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations et de rang GIEC 3 pour le $CH_4$ et le $N_2O$ (facteurs d'émission et consommations par types d'équipements tels que les moteurs, chaudières, TAG).

Les données disponibles détaillées (types, quantités et caractéristiques des combustibles, types d'équipements, mesures des émissions, etc.) permettent une estimation assez fine des émissions [19, 39]. Ces éléments tiennent également compte des méthodes développées dans le cadre de l'E-PRTR [380].

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. La mise en place du système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne depuis 2005 permet de disposer, par l'intermédiaire des déclarations annuelles [19], de données spécifiques pour la plupart des installations. Les facteurs d'émission moyens déterminés à partir des données de 2005 à 2012 sont appliqués sur l'ensemble de la période 1990-2004. Pour les combustibles utilisés uniquement avant 2005, les facteurs d'émission nationaux sont utilisés (cf. section générale sur l'énergie).

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions de $CH_4$ sont déterminées au moyen des facteurs d'émission par défaut du GIEC 2006 [638].

***Emissions de $N_2O$***

Les facteurs d'émission par défaut du GIEC 2006 [638] sont utilisés, excepté pour les installations munies de dispositifs à lit fluidisé pour lesquelles des données spécifiques sont disponibles [19].

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Les installations de chauffage urbain**

La méthode appliquée est de rang GIEC 2/3 pour le $CO_2$ du fait de la prise en compte de données spécifiques (consommations et émissions) à une partie des installations et de rang GIEC 1 pour le $CH_4$ et le $N_2O$.

Cette section concerne la production centralisée de chaleur en vue de sa distribution à des tiers au moyen de réseaux de distribution. Ne sont pas reprises dans cette section les installations de chauffage collectif et les installations d'incinération d'ordures ménagères avec récupération d'énergie.

Les données de production et de consommations d'énergie sont recensées annuellement par l'enquête « Réseaux de chaleur et de froid » diligentée par le SNCU (Syndicat National du Chauffage Urbain) [41]. Cette enquête nationale s'adresse à toutes les entreprises gestionnaires d'un ou plusieurs réseaux de chaleur et de froid.

Les installations de chauffage urbain sont distinguées en trois catégories :

- Installations de puissance supérieure à 50 MW : ces installations sont recensées individuellement chaque année dans le cadre de l'inventaire GIC (Grandes Installations de Combustion) [39] et leurs consommations sont donc connues de façon exhaustive. Il s'agit principalement de chaudières ;
- Les turbines à gaz supérieures à 20 MW : ces équipements sont recensés à partir des déclarations individuelles pour les quotas de GES depuis 2005 ;
- Installations de puissance inférieure à 50 MW : les consommations de ces installations sont tirées de l'enquête annuelle du SNCU. Il peut s'agir de chaudières, de TAG ou de moteurs. Une distinction supplémentaire est effectuée pour distinguer les équipements 20-50 MW et ceux < 20 MW à partir des déclarations individuelles pour les quotas de GES ainsi que les équipements inférieurs à 1 MW pour la biomasse uniquement (la consommation des équipements est déterminée à partir des données annuelles du CIBE [1211]).

La catégorie spécifique des installations de production centralisée de chaleur hors chauffage urbain, (généralement à destination d'autres installations industrielles à proximité) est rapportée dans ce secteur. Les consommations de combustibles associées sont déduites du bilan énergétique national [1] mais ne couvrent que le gaz naturel et les CMS.

L'enquête sectorielle annuelle donne un cadrage de la consommation d'énergie par combustible. L'enquête n'est pas disponible pour les années 1996, 1998, 2000, 2001, 2003 et 2004. De plus, elle est parfois publiée avec deux années de décalage par rapport à l'année couverte dans l'enquête.

Pour les années manquantes ou pas encore disponibles de l'enquête sectorielle, des extrapolations sont effectuées sur la base des données individuelles disponibles et par rapport aux années les plus proches. En tout état de cause, cette approximation n'introduit pas de biais vis-à-vis de l'estimation des consommations d'énergie car le chauffage urbain est un sous-ensemble du secteur résidentiel/tertiaire du bilan énergétique national [1] et un équilibrage est effectué à ce niveau supérieur. De plus, la consommation d'énergie de ce secteur est relativement modeste (de l'ordre de 2 Mtep, soit un peu plus de 1 % du bilan énergétique national).

Il est à noter que les consommations de combustibles dédiés à l'autoproduction d'électricité des installations de chauffage urbain sont comptabilisées dans ce secteur. Par ailleurs, les consommations d'énergie de ce secteur sont directement liées à la rigueur climatique.

***Emissions de $CO_2$***

Pour la houille et les combustibles gazeux hors gaz naturel, les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission, calculés à partir des émissions spécifiques déclarées par les installations soumises aux quotas [19] et des facteurs d'émission issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638] pour les installations non soumises aux quotas.

Pour le gaz naturel et le fioul lourd, les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission, calculés à partir des émissions spécifiques déclarées par les installations soumises aux quotas [19] et au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie) pour les installations non soumises aux quotas.

Pour les autres combustibles, les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie) ou par défaut et issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions de $CH_4$ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

**Les UIDND (usines d'incinération de déchets non dangereux) avec récupération d'énergie**

*Données d'activité*

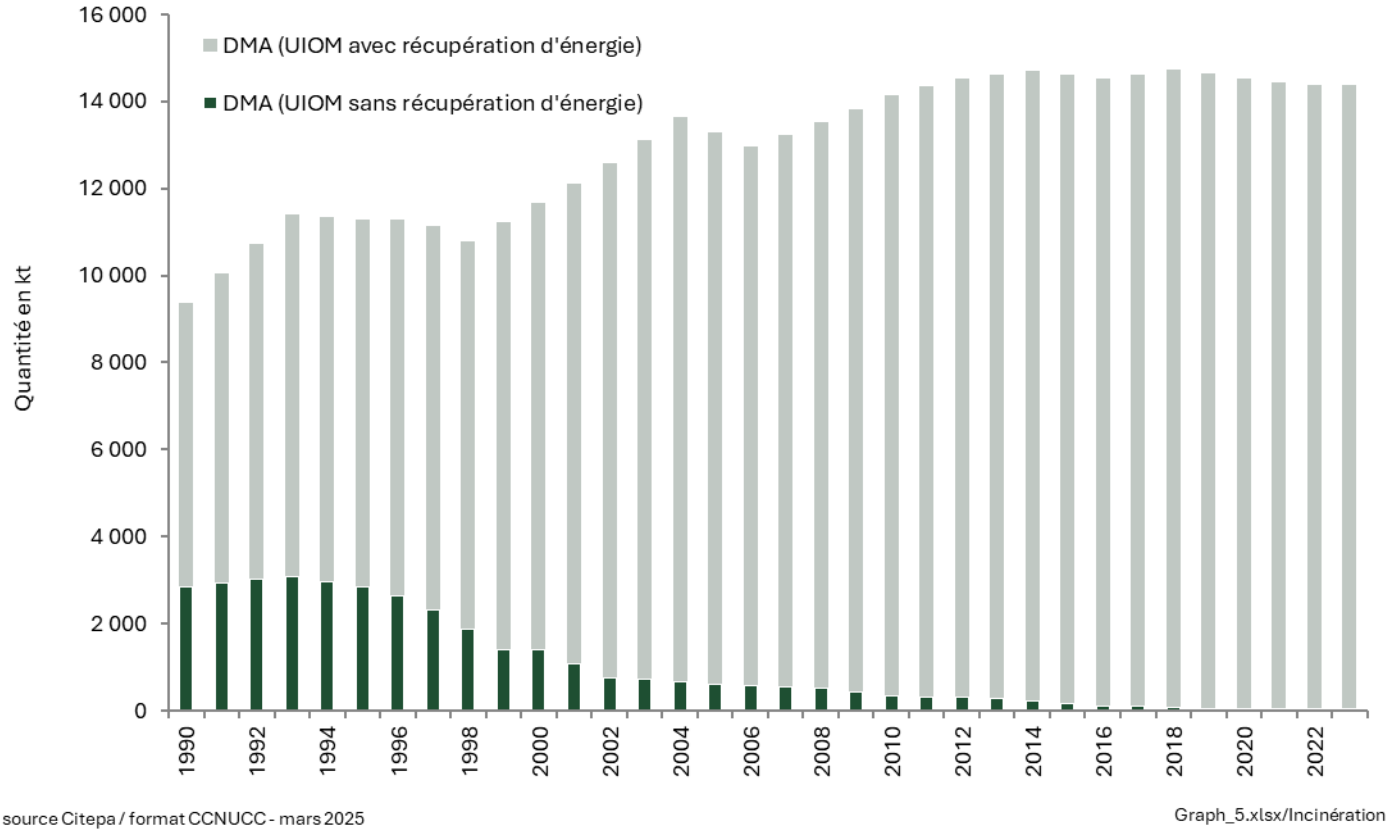
L'ADEME réalise périodiquement, depuis plusieurs décennies, les enquêtes ITOM (Installation de Traitement des Ordures Ménagères) [32]. Ces enquêtes contiennent des données relatives à tous les sites recevant des déchets collectés dans le cadre du service public d'élimination des déchets, implantés en Métropole et dans les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE. Les données collectées sont nombreuses : il s'agit, pour chaque installation, des quantités traitées par type de déchets selon la nomenclature ITOM, de l'énergie produite et son usage (vendue ou autoconsommée), des refus etc. Les données nécessaires à l'inventaire national (essentiellement les quantités traitées par type de déchets pour chaque installation) sont obtenues sous forme d'une base de données auprès de l'ADEME.

Les résultats de l'enquête ITOM font en outre l'objet d'un rapport public tous les deux ans. La dernière édition a été publiée en 2024 et concerne les données de l'année 2022. Ces données sont utilisées pour les périmètres métropolitain et ultramarins.

*Règle de rapportage*

La distinction entre « avec » ou « sans » récupération d'énergie se fait selon la classification effectuée par l'ADEME dans le cadre des enquêtes ITOM [32], c'est-à-dire sans prendre en compte le rendement énergétique de l'incinérateur. La part de l'incinération avec récupération est très majoritaire.

**Figure 24 : Quantité de déchets (kt) non dangereux incinérés avec et sans récupération d'énergie (Métropole et outre-mer inclus dans l'UE)**




Les émissions de $CO_2$ issues de la part organique des déchets sont comptabilisées hors total.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées selon la méthodologie recommandée dans les lignes Directrices 2006 du GIEC [743] au moyen de facteurs d'émission calculés sur la base du contenu en carbone des déchets (FC), de la composition des déchets traités en UIDND (WF), du facteur d'oxydation de l'incinération (OF) et du ratio de carbone d'origine biomasse (CFC).

$$CO2\ Emissions = MSW * \sum_i (WFi * dmi * CFi * FCFi * OFi) * 44/12$$

Où :

$CO_2$ Emissions = Emissions de $CO_2$, Gg/an

MSW = quantité totale de déchets solides municipaux (poids humide) incinérés, Gg/an

$WF_i$ = fraction du type de déchets/matière du composant i dans les DSM (poids humide) incinéré, avec $\sum WF_i = 1$,

$dm_i$ = teneur en matière sèche des DSM (poids humide) incinérés, (fraction)

$CF_i$ = fraction de carbone dans la matière sèche (teneur totale en carbone), (fraction)

$FCF_i$ = fraction de carbone fossile dans le carbone total, (fraction)

$OF_i$ = facteur d'oxydation, (fraction)

44/12 = facteur de conversion du C en $CO_2$,

i = composants des DSM incinérés tels que le papier/carton, les textiles, les déchets alimentaires, le bois, les déchets de jardin (cour) et de parc, les couches jetables, le caoutchouc et le cuir, les plastiques, le métal, le verre, les autres déchets inertes.

La composition des déchets incinérés selon les catégories nécessaires à l'application de la méthodologie du GIEC (déchets alimentaires, déchets verts, papier/carton, bois, textiles, textiles sanitaires et incombustibles) est estimée sur la base, d'une part, d'enquêtes de caractérisation des déchets ménagers (dites MODECOM [368]), d'enquêtes de caractérisation des déchets industriels selon l'activité, la

nature des déchets et le type de traitement [733] et, d'autre part, d'enquêtes bisannuelles caractérisant les déchets incinérés réalisées par l'ADEME [32].

**Figure 25 : Composition des déchets incinérés en UIDND (yc déchets industriels, hors boues) en Métropole**

| Année | Déchets alimentaires (%) | Déchets verts (%) | Papier / carton (%) | Bois (%) | Textile (%) | Textile sanitaire (%) | Cuir et caoutchouc (%) | Plastiques et autres inertes | | Boues (%) | Construction et démolition (%) | Déchets Dangereux (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | *total* | *dont combustibles* | | | |
| 1990 | 24.2% | 4.4% | 23.7% | 7.5% | 2.7% | 3.7% | 0.0% | *32.1%* | *13.7%* | 0.6% | 0.1% | 1.1% |
| 1995 | 24.2% | 4.4% | 23.7% | 7.5% | 2.7% | 3.7% | 0.0% | *32.1%* | *13.7%* | 0.6% | 0.1% | 1.1% |
| 2000 | 26.6% | 4.8% | 20.6% | 9.0% | 2.4% | 6.1% | 0.0% | *28.3%* | *13.1%* | 0.9% | 0.0% | 1.2% |
| 2005 | 28.1% | 6.3% | 16.9% | 9.8% | 2.1% | 8.3% | 0.1% | *26.1%* | *13.0%* | 1.2% | 0.0% | 1.2% |
| 2010 | 27.4% | 5.3% | 15.7% | 11.6% | 2.2% | 10.1% | 0.1% | *25.1%* | *13.4%* | 0.9% | 0.1% | 1.3% |
| 2011 | 26.1% | 5.2% | 15.3% | 13.3% | 2.2% | 10.1% | 0.2% | *25.1%* | *13.8%* | 1.1% | 0.0% | 1.4% |
| 2012 | 24.8% | 5.1% | 14.8% | 15.0% | 2.2% | 10.1% | 0.2% | *25.0%* | *14.1%* | 1.2% | 0.0% | 1.5% |
| 2013 | 24.4% | 5.4% | 14.9% | 14.3% | 2.3% | 10.5% | 0.2% | *25.4%* | *14.8%* | 1.0% | 0.0% | 1.8% |
| 2014 | 23.9% | 5.6% | 14.9% | 13.5% | 2.4% | 10.8% | 0.2% | *25.8%* | *15.5%* | 0.8% | 0.0% | 2.0% |
| 2015 | 23.4% | 5.4% | 14.9% | 13.3% | 2.5% | 11.1% | 0.2% | *26.4%* | *16.0%* | 0.8% | 0.0% | 2.0% |
| 2016 | 22.9% | 5.3% | 14.9% | 13.0% | 2.5% | 11.4% | 0.2% | 26.9% | *16.5%* | 0.8% | 0.0% | 2.1% |
| 2017 | 22.7% | 5.3% | 15.0% | 12.6% | 2.6% | 11.5% | 0.1% | 27.6% | *16.5%* | 0.7% | 0.0% | 1.9% |
| 2018 | 22.5% | 5.4% | 15.0% | 12.3% | 2.6% | 11.6% | 0.1% | 28.2% | *16.5%* | 0.7% | 0.0% | 1.7% |
| 2019 | 22.2% | 5.3% | 14.9% | 12.1% | 2.7% | 11.2% | 0.1% | 28.9% | *16.8%* | 0.7% | 0.0% | 1.9% |
| 2020 | 22.0% | 5.2% | 14.8% | 11.9% | 2.7% | 10.9% | 0.1% | 29.6% | 17.0% | 0.7% | 0.0% | 2.0% |
| 2021 | 22.0% | 5.2% | 14.8% | 11.7% | 2.7% | 10.7% | 0.1% | 30.1% | 17.1% | 0.6% | 0.0% | 2.0% |
| 2022 | 22.0% | 5.2% | 14.8% | 11.6% | 2.7% | 10.4% | 0.1% | 30.5% | 17.2% | 0.5% | 0.0% | 2.1% |
| 2023 | 21.8% | 5.2% | 14.8% | 11.5% | 2.8% | 10.2% | 0.1% | 31.0% | 17.2% | 0.5% | 0.0% | 2.1% |

Les valeurs par défaut de contenu en carbone des déchets (FC) proposées par le GIEC sont appliquées [617][618].

La valeur par défaut du facteur d'oxydation de l'incinération proposée par le GIEC est appliquée [618].

Les valeurs par défaut du ratio de carbone d'origine biomasse (FCF) proposées par le GIEC sont appliquées [617][618].

***Emissions de $CH_4$***

Le facteur d'émission de $CH_4$ dépend du type de technologie d'incinération (four à grille ou à lits fluidisés).

Pour une technologie à grille, le facteur d'émission est de 0,2 kg $CH_4$ / kt de déchets [619].

Pour une technologie à lits fluidisés, le facteur d'émission du $CH_4$ est nul [619].

La répartition des usines par type de four en France, en proportion de la capacité installée, est connue pour 2005 au travers de l'enquête de l'ADEME [335]. Elle est composée de 97,2% de fours à grille (grilles fixes, grilles mobiles et fours rotatifs) et de 2,8% de lits fluidisés.

Le facteur d'émission moyen déduit est de 0,19 g $CH_4$ / t de déchets.

***Emissions de $N_2O$***

Par le passé, un facteur d'émission de 31 g $N_2O$ / t déchets ménagers issu d'une campagne de mesure de la FNADE [310] était appliqué sur toute la série temporelle. A partir de 2020 et pour la période comprise entre 2004 et 2019, on considère un facteur d'émission annuel moyen calculé sur la base des déclarations des exploitants des sites d'incinérations. Ainsi on considère en 2004 un facteur moyen de 98,4 g/Mg de déchets incinérés et un facteur moyen de 24,3 g/Mg de déchets incinérés en 2020. On considère un facteur constant de 98,4 g/Mg avant 2004.

**Tableau 61 : Facteurs d'émission de $N_2O$ associés à l'incinération de déchets ménagers (g $N_2O$/Mg de déchets)**

| g/Mg | 1990-2004 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| FE $N_2O$ | 98,4 | 95,9 | 58,7 | 31,3 | 24,3 | 15,1 |

A titre indicatif, le facteur d'émission proposé dans les lignes directrices de 2006 du GIEC est de 50 g $N_2O$/Mg de déchets.

### 3.2.5.2.2 Raffinage du pétrole (1A1b)

La méthode appliquée est de rang GIEC 2 ou 3 selon les années et les substances.

Cette section concerne uniquement les installations de combustion dans le raffinage du pétrole brut ou de produits partiellement élaborés provenant d'autres raffineries.

Les émissions issues des procédés du raffinage, notamment le brulage de coke lors de la régénération du craqueur catalytique, sont comptabilisées dans la section « 1B2a_petrol refining » et celles relatives aux torchères « 1B2c_petrol refining ».

Les données disponibles détaillées (types, quantités et caractéristiques des combustibles, types d'équipements, mesures des émissions, bilans, etc.) [13, 14, 19, 39, 47] permettent une estimation assez fine des émissions de la combustion pour la plupart des substances, notamment celles concourant à l'acidification et au changement climatique.

Parmi les spécificités des installations françaises, il faut noter :

- qu'un site utilise des gaz de haut fourneau du site sidérurgique voisin, ce qui explique les émissions spécifiques importantes pour la catégorie des combustibles solides pour ce secteur,
- qu'un site a démarré une turbine à combustion en 2004 au gaz naturel, dont la pleine capacité est atteinte à partir de 2005. Cet équipement consomme plus de 80% des quantités totales de gaz naturel allouées à ce secteur.

Les estimations sont effectuées pour chaque sous-ensemble de la raffinerie (fours, moteurs fixes, turbines à gaz, chaudières).

A noter que, depuis l'édition 2025, la part de biométhane faisant partie du gaz du réseau (mélange de gaz naturel et biométhane) est considérée dans les données récupérées des exploitants, non-nulle et croissante depuis 2012 (cf. section générale Energie).

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible.

Les facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19], notamment afin d'assurer la cohérence des données retenues pour l'inventaire avec celles déclarées au titre du Système d'Echange de Quotas d'Emissions (SEQE), basées sur des mesures spécifiques.

Lorsque l'exploitant ne déclare pas de facteurs spécifiques, pour une année donnée, les facteurs d'émission moyens par combustible et par site sont appliqués (notamment avant 2005) ou, en dernier recours, les valeurs nationales (par combustible) sont utilisées (cf. section générale énergie).

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions sont calculées à partir des facteurs d'émission qui dépendent du combustible et de l'installation. Si l'exploitant propose des facteurs d'émission ou des mesures fiables, ceux-ci sont pris en compte en priorité. Les facteurs d'émission par défaut sont tirés du Concawe [396] et du GIEC [397] pour les fours et les chaudières. Pour les turbines à combustion et les moteurs, les facteurs d'émission proviennent du Concawe [396] et d'un guide méthodologique E-PRTR [676].

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ sont déterminées au moyen des facteurs d'émission par défaut (cf. section générale énergie).

#### 3.2.5.2.3 Transformation des combustibles minéraux solides et Raffinage du gaz (1A1c)

**Transformation des combustibles minéraux solides**

Les consommations de combustibles dédiées au secteur de la transformation du charbon sont issues du bilan national de l'énergie [1]. Il n'y a plus d'activité à partir de 2005.

Les émissions des cokeries minières et sidérurgiques sont déterminées à partir des données spécifiques disponibles (consommations et caractéristiques des combustibles, productions, mesures, etc.) [19, 27, 53]. A partir de 2014, les données de consommations fournies par la fédération professionnelle [27] ne sont plus disponibles. Afin d'estimer les consommations de combustibles pour la production de coke sidérurgique, une estimation de la consommation totale est réalisée à partir de la production et d'un ratio moyen entre la consommation totale et la production de coke, basé sur les années connues. Une répartition moyenne des consommations par type de combustible, basée sur les années connues, est appliquée à la consommation totale afin d'obtenir les consommations par combustible.

Lorsque les cokeries minières fonctionnaient encore, du gaz de mine et du gaz de cokerie étaient produits. L'une des cokeries réutilisait le gaz de mine et le gaz de cokerie au sein de la cokerie comme intrants énergétiques, et l'autre n'utilisait que du gaz de cokerie. Au sein des cokeries sidérurgiques, le gaz de four à coke produit est réutilisé en tant que source d'énergie dans les différents ateliers du site intégré de fabrication d'acier (au sein de l'atelier de production de coke, de l'agglomération, des hauts-fourneaux, des fours à oxygène ou encore des ateliers connexes). Une partie de ce gaz de cokerie est également vendu, notamment à des producteurs d'électricité.

Les émissions liées à la fabrication du charbon de bois sont calculées à partir de la production [517, 518 et 1061], et des facteurs d'émission spécifiques au secteur [78].

***Emissions de $CO_2$***

*Pour la transformation du charbon*, les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

*Pour la fabrication de coke au sein des cokeries sidérurgiques*, les consommations de combustibles sont fournies par la fédération professionnelle [27]. Le facteur d'émission est tiré des teneurs en carbone moyennes (sur 2008-2011) de chaque combustible [27]. Du gaz de cokerie est produit au sein des cokeries sidérurgiques et est réutilisé en tant que combustible dans les différents ateliers des sites sidérurgiques intégrés (au sein de la cokerie, mais aussi l'agglomération, les hauts-fourneaux et d'autres ateliers connexes). Il peut également être vendu et utilisé comme source d'énergie par d'autres secteurs (comme la production d'électricité par exemple). Les émissions associées à la combustion de ce gaz acheté sont alors comptabilisées dans le secteur utilisateur.

*Dans le cas des cokeries minières* (arrêt de l'activité fin 2009), les productions sont issues des déclarations annuelles des exploitants [19]. Les facteurs d'émission pour le $CO_2$ liés aux consommations de gaz de cokerie, de gaz de mine et de charbon à coke sont tirés des informations individuelles des deux sites : une seule année (2001) pour l'un des sites, six années (2004 à 2009) pour le second site [19] (Rang 3 pour ces années connues). Le même facteur d'émission est appliqué pour les années pour lesquelles l'information n'est pas disponible (Rang 2).

*Concernant la fabrication du charbon de bois*, le facteur d'émission provenant de l'USEPA est pris par défaut [66]. Ces émissions sont assimilées à du $CO_2$ biomasse et ne sont donc pas comptabilisées dans le total national.

***Emissions de $CH_4$***

*Pour la transformation du charbon*, les émissions de $CH_4$ sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible issu du GIEC 2006 [638].

*Pour la fabrication de coke au sein des cokeries sidérurgiques*, les consommations de combustibles sont fournies par la fédération professionnelle [27]. Les facteurs d'émission sont tirés du GIEC 2006 [638].

*Dans le cas des cokeries minières* (arrêt de l'activité fin 2009), les productions sont issues des déclarations annuelles des exploitants [19]. Les facteurs d'émission sont tirés du GIEC 2006 [638].

*Concernant la fabrication du charbon de bois*, deux facteurs d'émission sont considérés selon le type de procédé de production (artisanal ou industriel) ; ils proviennent d'une étude du CITEPA [78]. Le facteur d'émission global varie au cours du temps en fonction de la répartition entre les productions de type artisanale et industrielle.

***Emissions de $N_2O$***

*Pour la transformation du charbon*, les émissions de $N_2O$ sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible issu du GIEC 2006 [638].

*Dans le cas des cokeries sidérurgiques et minières*, les facteurs d'émission sont tirés du GIEC 2006 [638].

*Pour la fabrication de charbon de bois*, les émissions de $N_2O$ sont estimées à partir de facteurs d'émission issus du GIEC 2006 [638].

**Raffinage du gaz**

Les données disponibles détaillées (types, quantités et caractéristiques des combustibles, types d'équipements, mesures des émissions, bilans, etc.) [19, 39, 50] permettent une estimation assez fine des émissions des différents équipements pour la plupart des substances, notamment celles concourant à l'acidification et au changement climatique.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs aux combustibles consommés. Les facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19, 50], notamment afin d'assurer la cohérence des données retenues pour l'inventaire avec celles déclarées au titre du Système d'Echange de Quotas d'Emissions (SEQE), basées sur des mesures spécifiques. Lorsque, pour une année donnée, l'exploitant ne fournit pas de facteur spécifique pour un ou plusieurs combustibles, la moyenne des facteurs d'émission sur les années renseignées ou la valeur par défaut est appliquée (notamment avant 2005). Les facteurs d'émission spécifiques à cette activité sont confidentiels (un seul site concerné).

***Emissions de $CH_4$***

Pour les chaudières et les fours, les facteurs d'émission proviennent du Guidebook EMEP / CORINAIR [17] pour le fioul lourd et de facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant pour le gaz naturel [50].

Pour les moteurs fixes, des valeurs spécifiques sont utilisées [50].

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par défaut, dépendant du combustible et de l'installation.

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### 3.2.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 2. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes associées au secteur de l'industrie de l'énergie est effectuée au 3ème niveau de la catégorie (i.e. 1A1) en fonction du type de combustible.

Les incertitudes des données d'activité sont basées sur les lignes directrices du GIEC [IPCC – Guidelines 2006 – Volume 2 – Chapitre 2 Combustion sources mobiles, Table 2.15] tenant compte de l'avis des experts sectoriels. Ainsi, ces incertitudes reflètent le fait que les données d'activité sont connues, mesurées et bien suivies, sa valeur est de 1 % par catégorie de combustible.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission de $CO_2$ sont basées sur des estimations d'experts, tenant compte à la fois des différences observées et des erreurs dans les données. Pour les combustibles solides, liquides et le gaz naturel, cette incertitude est de 2 % ; et de 6 % pour les autres combustibles. Ces valeurs reflètent également le fait que les facteurs d'émission de $CO_2$ sont connus, mesurés et bien suivis.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission de CH4 et de N2O sont de 100% par type de combustible. Pour le CH4, ceci est basé sur les lignes directrices du GIEC [IPCC – Guidelines 2006 – Volume 2 – Chapitre 2 Combustion sources mobiles, Table 2.12] tenant compte de l'avis d'experts sectoriels. Pour le N2O, les lignes directives du GIEC n'indiquent pas les incertitudes des facteurs d'émission. Ainsi, l'avis des experts sectoriels a été pris en compte considérant que les incertitudes pour le CH4 et le N2O sont plus élevées, car elles reflètent l'utilisation de facteurs par défaut (provenant des lignes directrices du GIEC).

La cohérence temporelle est respectée sur l'ensemble de la période pour les centrales thermiques électriques (consommations et émissions suivies chaque année) et pour les UIDND avec récupération d'énergie.

Pour les installations de chauffage urbain, il existe certaines années avant 2005 où l'enquête sur les consommations d'énergie n'est pas disponible ou est peu fiable. Dans ces cas particuliers la cohérence temporelle est rétablie en recalculant les consommations à partir des GIC (Grandes Installations de Combustion) qui sont suivies annuellement. Un contrôle de cohérence avec indice de rigueur climatique pour l'année en question est aussi effectué.

La cohérence temporelle est respectée sur l'ensemble de la période pour le secteur du raffinage puisque les données d'activité sont connues au niveau de chaque site depuis 1990.

La cohérence temporelle est respectée sur l'ensemble de la période pour les cokeries, l'activité minière et le raffinage de gaz puisque les données d'activité proviennent soit du site lui-même, soit des mêmes sources statistiques depuis 1990.

### 3.2.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Des dispositions spécifiques sont mises en œuvre pour ces sous-secteurs de l'énergie :

- les déclarations annuelles des exploitants sont vérifiées par les autorités locales (DREAL) puis validées par le Ministère de la Transition Ecologique (MTE),
- une validation indirecte des émissions de $CO_2$ est effectuée par des organismes certifiés (désignés par le Ministère chargé de l'Environnement) dans le cadre du SEQE,
- les données SEQE permettent par ailleurs d'effectuer un contrôle de cohérence et vérifier que les émissions totales d'un secteur SEQE ne dépassent pas les émissions du secteur correspondant dans l'inventaire,
- les émissions recalculées sont vérifiées,
- la cohérence globale avec le bilan de l'énergie national est vérifiée,
- une validation spécifique est mise en place pour l'inventaire des grandes installations de combustion (GIC).

Par ailleurs, pour les installations de chauffage urbain et les UIDND, les entités statistiques fournissant les enquêtes mettent en œuvre leur propre assurance qualité.

### 3.2.5.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 1A1**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 66 302 | 55 761 | 62 466 | 66 908 | 60 093 | 44 959 | 48 516 | 52 455 | 43 031 | 41 639 | 37 239 | 38 980 | 40 043 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 66 304 | 55 763 | 62 467 | 66 908 | 60 063 | 44 959 | 48 511 | 52 444 | 43 000 | 41 635 | 37 221 | 39 792 | 40 922 | 34 017 |
| Différence | kt CO2e | +1,3 | +1,2 | +1,2 | 0 | -30 | -0,54 | -5,2 | -11 | -31 | -4,2 | -18 | +812 | +879 | +34 017 |
| | % | +0,0% | +0,0% | +0,0% | 0% | -0,0% | -0,0% | -0,0% | -0,0% | -0,1% | -0,0% | -0,0% | +2,1% | +2,2% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /1.A.1

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Production d'électricité (1A1a)**

**Description des recalculs**

**Métropole :**

Mise à jour du FE du $CH_4$ pour le bois (NAPFUE 111) : passage de 30 g/GJ à 11 g/GJ.

**Outre-Mer :**

Mise à jour des consommations de fioul domestique, de fioul lourd et de pétrole lampant dans le bilan de l'énergie, avec un impact à la hausse ou à la baisse sur les émissions pour certaines années et certains territoires.

**Raison et justification**

Amélioration de l'exactitude des données.

**Chauffage urbain (1A1a)**

**Description des recalculs**

Ajustements des consommations entre les différentes catégories de puissances des installations (RUBRIC S20 et I20) sur les combustibles charbon (NAPFUE 102), biomasse solide (NAPFUE 111) et sur le gaz naturel/biogaz (NAPFUE 301 et 309) avec un impact sur les années 2009-2015 et sur 2018-2022.

$CO_2$ : Mise à jour de la part du biométhane au sein du gaz naturel (impact mineur) sur l'année 2022.

Production centralisée de chaleur hors chauffage urbain : ajustement des consommations énergétiques via le bilan énergétique national : légère hausse du charbon NAPFUE 102 sur 2011-2013, et baisse en 2022. Pour le gaz naturel (NAPFUE 301), légères baisses sur 2012-2020 et hausse sur 2021-2022.

**Raison et justification**

Amélioration de l'exactitude des données.

**UIDND avec récupération d'énergie (1A1a)**

**Description des recalculs**

Prise en compte de l'enquête ITOM de l'ADEME et modification en conséquence (à la hausse) des quantités de déchets non dangereux incinérés sans récupération d'énergie en 2021 et 2022. La composition a également été impactée et influe sur le FE $CO_2$ de ces mêmes années.

**Raison et justification**

Amélioration de l'exactitude des données.

**Raffinage du pétrole (1A1b)**

**Description des recalculs**

Aucun recalcul en particulier n'est à justifier.

**Raison et justification**

NA

**Transformation des combustibles minéraux solides (1A1c)**

**Description des recalculs**

Pas de recalcul.

**Raison et justification du recalcul**

Pas de recalcul.

### 3.2.5.6 Améliorations envisagées

**Transformation des combustibles minéraux solides (1A1c)**

Pour la fabrication de charbon de bois, il est envisagé de mobiliser les données des industriels fabriquant du charbon actif, déclarant des émissions liées à la carbonisation de bois, et de les combiner aux données statistiques de production de charbon de bois actuellement utilisées.

# 3.2.6 Industrie manufacturière (1A2)

## 3.2.6.1 Caractéristiques de la catégorie

En 2023, pour la France au périmètre UE, l'industrie manufacturière (CRT 1A2), du fait des émissions de $CO_2$, apparaît 10 fois parmi les 45 catégories clés recensées en termes de niveau d'émissions GES hors UTCATF. De même, pour la contribution à l'évolution des émissions (hors UTCATF), l'industrie manufacturière apparaît 16 fois pour les émissions de $CO_2$ sur les 59 catégories clés recensées. Les différentes catégories clés (hors UTCATF) en termes de niveau d'émissions et d'évolution des émissions sont les suivantes :

**Tableau 62 : Substances pour lesquelles le secteur 1A2 est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 1A2g – other | $CO_2$ | 13ème | 1,8% | 40ème | 0,5% |
| 1A2e – gas | $CO_2$ | 15ème | 1,6% | 14ème | 1,8% |
| 1A2f – gas | $CO_2$ | 22ème | 1,0% | 31ème | 0,7% |
| 1A2c – gas | $CO_2$ | 23ème | 1,0% | - | - |
| 1A2f - oil | $CO_2$ | 27ème | 0,7% | 23ème | 0,9% |
| 1A2c – oil | $CO_2$ | 29ème | 0,6% | 36ème | 0,6% |
| 1A2d – gas | $CO_2$ | 34ème | 0,5% | - | - |
| 1A2a – gas | $CO_2$ | 37ème | 0,4% | - | - |
| 1A2a – coal | $CO_2$ | 38ème | 0,4% | 32ème | 0,7% |
| 1A2f – other fossil fuels | $CO_2$ | 44ème | 0,3% | 43ème | 0,4% |
| 1A2f – coal | $CO_2$ | - | - | 19ème | 1,2% |
| 1A2e – oil | $CO_2$ | - | - | 27ème | 0,8% |
| 1A2e - coal | $CO_2$ | - | - | 35ème | 0,6% |
| 1A2a – oil | $CO_2$ | - | - | 39ème | 0,5% |
| 1A2d – oil | $CO_2$ | - | - | 44ème | 0,5% |
| 1A2d – coal | $CO_2$ | - | - | 50ème | 0,3% |
| 1A2c – coal | $CO_2$ | - | - | 51ème | 0,3% |
| 1A2b – coal | $CO_2$ | - | - | 52ème | 0,3% |
| 1A2c – other fossil fuels | $CO_2$ | - | - | 56ème | 0,3% |

En considérant uniquement les différentes sources clés cumulées, la combustion dans l'industrie manufacturière contribue en 2023, par le $CO_2$ émis, à 8,3 % en niveau d'émissions et à 10,3 % en termes d'évolution, aux émissions nationales de GES hors UTCATF.

La catégorie 1A2 regroupe les activités de consommation d'énergie de l'industrie manufacturière.

Plusieurs secteurs de l'industrie sont identifiés et notamment l'industrie des métaux ferreux, l'industrie des métaux non-ferreux, la chimie, l'industrie papetière, l'industrie agroalimentaire, l'industrie des produits minéraux non-métalliques et l'ensemble des autres branches d'activité (dont BTP, enrobés routiers, etc.) rassemblées dans une catégorie « autres ». Les équipements consommateurs d'énergie dans l'industrie peuvent être répartis en trois familles :

- procédés énergétiques communs à la plupart des secteurs : ils regroupent les activités de combustion sans contact dans les chaudières, turbines et moteurs destinés à produire de la vapeur et/ou de l'électricité,
- procédés énergétiques spécifiques à certains secteurs : ils regroupent les fours sans contact (comme les régénérateurs de hauts-fourneaux, les fours à plâtre, etc.) et les fours avec contact dans les secteurs de la sidérurgie, de la métallurgie, des industries cimentières et verrières, etc.,
- sources mobiles hors transport : elles regroupent les engins et machines à moteurs thermiques utilisés dans l'industrie et le BTP (chariots élévateurs, etc.).

L'autoproduction industrielle d'électricité est comptabilisée dans chaque secteur producteur de cette section.

Les consommations finales d'énergie de l'industrie manufacturière sont rappelées dans le tableau suivant.

**Tableau 63 : Consommation d'énergie finale dans les sous-secteurs de l'industrie manufacturière par type de combustible en 1990 et 2023 – périmètre UE**

source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 energie_industrie.xlsx/Energie finale

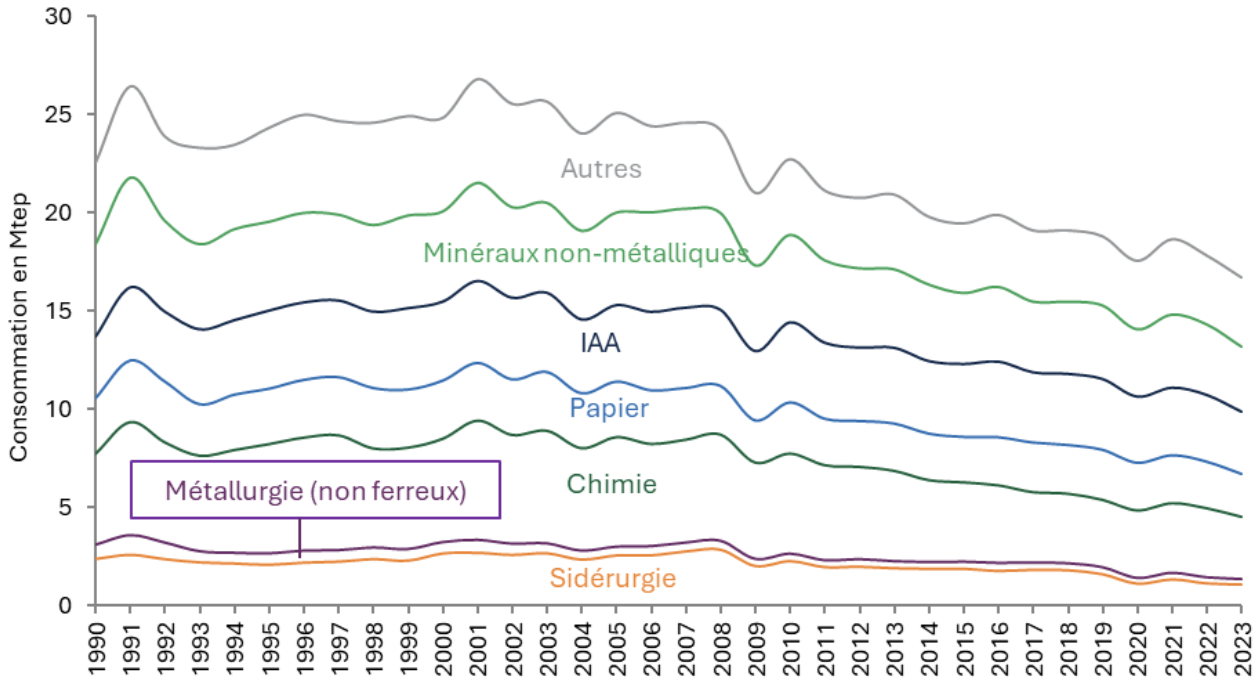
| INDUSTRIE[1] en Mtep | 1990 | | | | | 2023 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Liquides | Solides | Gaz naturel | Biomasse | Autres | Liquides | Solides | Gaz naturel | Biomasse | Autres |
| Sidérurgie (1A2a) | 0.5 | 0.7 | 1.2 | - | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.7 | 0.0 | 0.0 |
| Métallurgie (non ferreux) (1A2b) | 0.2 | 0.2 | 0.3 | - | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 |
| Chimie (1A2c) | 1.5 | 0.5 | 2.4 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 1.6 | 0.3 | 0.4 |
| Papier (1A2d) | 0.4 | 0.3 | 0.9 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 1.3 | 0.0 |
| IAA (1A2e) | 1.0 | 0.5 | 1.5 | 0.2 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 2.6 | 0.4 | 0.0 |
| Minéraux non-métalliques (1A2f) | 1.9 | 1.2 | 1.4 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 0.2 | 1.6 | 0.5 | 0.3 |
| Autres (1A2g) - tous combustibles | | | 4.1 | | | | | 3.5 | | |
| **TOTAL** | | | **22.5** | | | | | **16.7** | | |

*1 catégories de combustibles définis par le GIEC*

*2 Les informations n'étant pas disponibles pour l'Outre-mer, l'électricité n'est pas incluse*

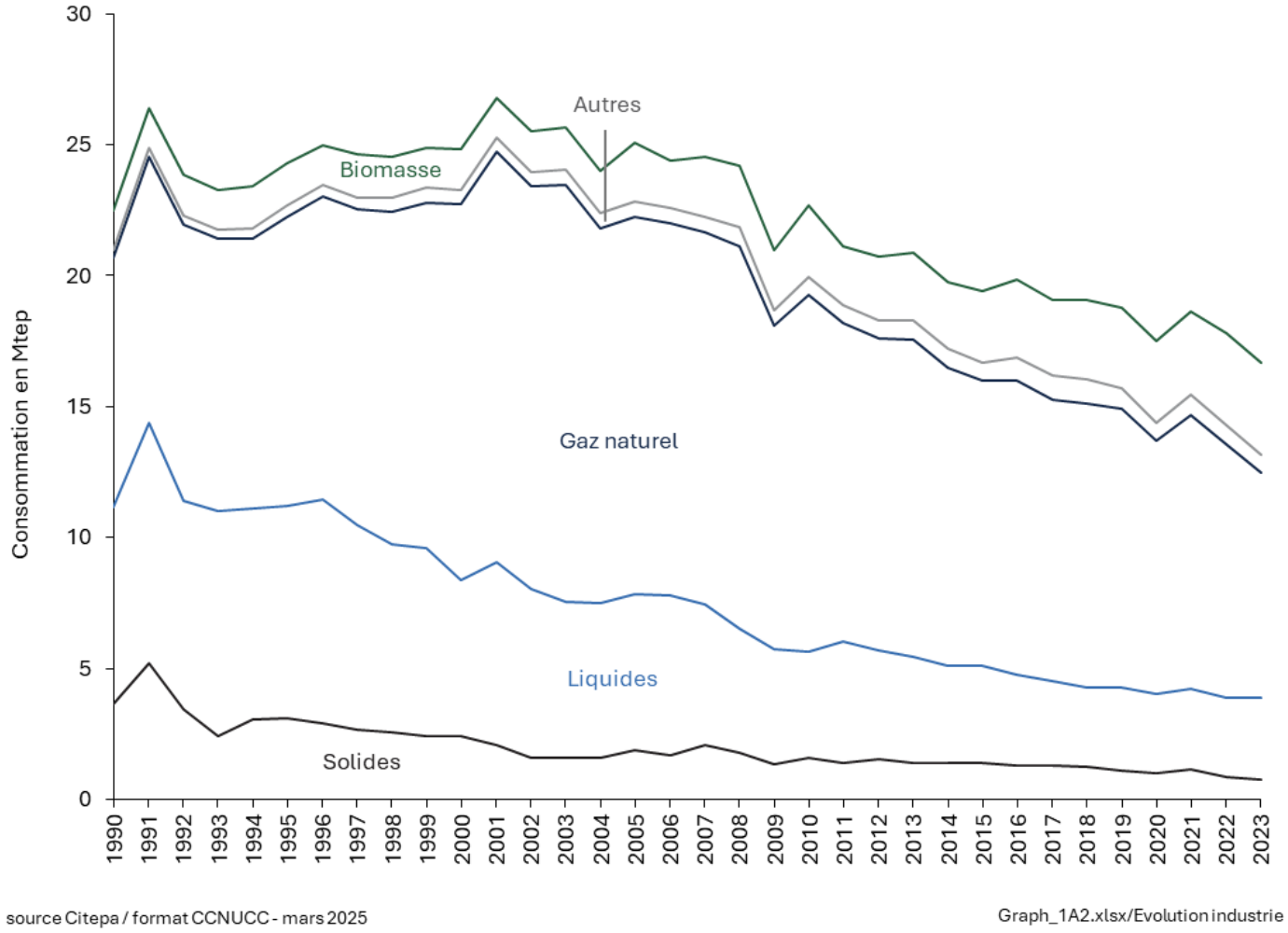
Les figures suivantes montrent d'une part l'évolution sur la période 1990-2023 des consommations de combustibles totales (-26 % au total, tous combustibles et secteurs confondus) des différentes sous-catégories de l'industrie manufacturière pour la France au périmètre UE et, d'autre part, les consommations totales des différents types de combustibles (toutes sous-catégories de l'industrie manufacturière confondues) pour la France au périmètre UE.

**Figure 26 : Évolution de la consommation de combustibles par sous-catégorie de l'industrie manufacturière (périmètre UE) (non corrigée du climat, en cumulé)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 energie_industrie.xlsx/Secteurs

**Figure 27 : Evolution de la consommation d'énergie par combustible dans l'industrie manufacturière en France – (périmètre UE) (non corrigée du climat, en cumulé)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Graph_1A2.xlsx/Evolution industrie

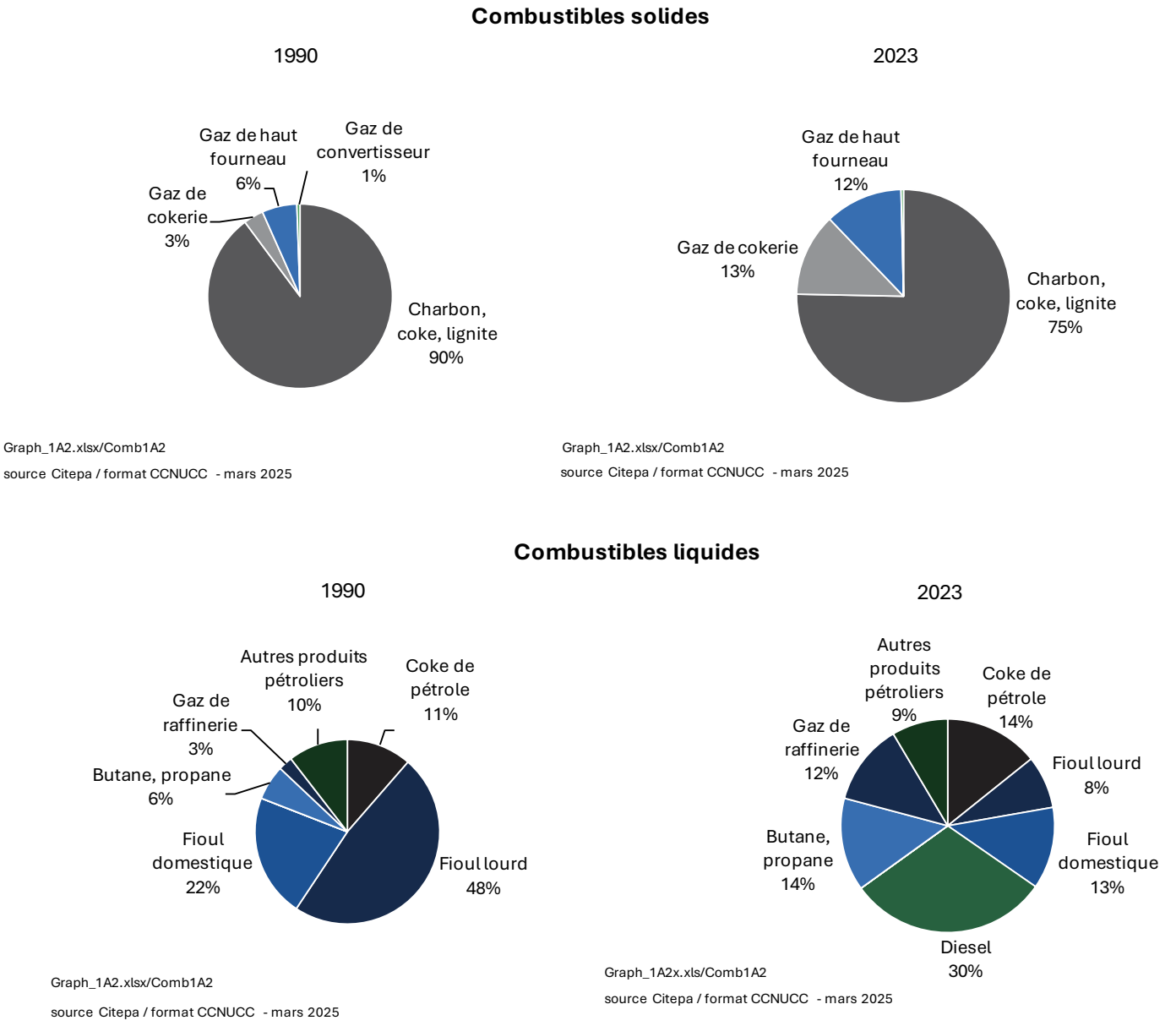
Au total, hors électricité, la consommation de combustible finale dans le secteur de l'industrie manufacturière au périmètre UE est en baisse entre 1990 et 2023 (-26 %), particulièrement ces dernières années depuis la crise économique de 2008-2009 (année 2009 fortement marquée) et la crise sanitaire de 2020. Un léger regain était observé néanmoins en 2021 (+6,3 % par rapport à 2020), à la suite d'une reprise plus stable de l'activité après la crise sanitaire, mais une tendance de nouveau à la baisse est observée en 2022 (-4,5 % comparé à 2021). Entre 2022 et 2023, la baisse initiée entre 2021 et 2022 se poursuit (-6,3%). La structure énergétique, quant à elle, montre une tendance à un recours plus important au gaz naturel (42% en 1990 contre 52% en 2023) et à la biomasse (7% en 1990 contre 21% en 2023), au détriment des combustibles liquides (33% en 1990 contre 19% en 2023) et solides (16% en 1990 contre 4% en 2023). Ce changement de structure a permis notamment de diminuer les émissions de $CO_2$ du secteur sur la période.

Une légère chute de la production des installations sidérurgiques en 1993 explique la baisse des consommations de combustibles solides cette année-là.

Parmi les spécificités de cette catégorie, sont à noter pour le périmètre UE :

- la forte diminution de la part du fioul lourd dans les combustibles « liquides », passant de 48 % en 1990 à 8 % en 2023, qui s'est fait substitué partiellement par le diesel, le GPL (butane, propane) et le gaz de raffinerie notamment,
- l'augmentation des gaz sidérurgiques dans les combustibles minéraux solides, passant de 10 % en 1990 à 25 % en 2023,
- suite à la réglementation applicable aux engins mobiles, depuis 2011, le fioul domestique a été remplacé par le gazole non routier (pris en compte dans la catégorie diesel). Il subsiste néanmoins une part non négligeable dans la combustion stationnaire.

**Figure 28 : Détail des combustibles « solides » (1er graphique) et « liquides » (second graphique) consommés dans l'industrie manufacturière en France – Périmètre UE**




**Sources fixes**

L'industrie manufacturière est un ensemble hétérogène dans le sens où l'on constate :

- que des émissions de polluants sont liées à l'utilisation de l'énergie tandis que d'autres sont liées à d'autres phénomènes (mécanique, chimique, etc.),
- la grande diversité des procédés spécifiques aux différents secteurs de la branche et aux divers produits,
- la variabilité des caractéristiques des installations même au sein d'un secteur (type d'équipement, taille, etc.).

Il en résulte que les méthodes d'estimation des émissions font appel :

- d'une part, à des données spécifiques de chaque secteur d'activité (cf. sections suivantes) et,
- d'autre part, à des données communes à tous les secteurs lorsque l'estimation porte sur la combustion de produits fossiles, de biomasse et de déchets valorisés pour leur contenu énergétique dans des équipements (chaudières, engins, etc.) appartenant aux entreprises et activités classées dans l'industrie manufacturière quel que soit le secteur considéré. Ces éléments communs sont présentés dans la section ci-dessous.

Cependant, les phénomènes éventuellement concomitants responsables d'émissions des mêmes substances ou d'autres substances sont traités dans d'autres sections (par exemple le $CO_2$ issu de la décarbonatation, cf. sections relatives aux codes CRT 2A1 à 2A4) en fonction de la classification internationale des sources CRT.

La question de la consommation d'énergie de l'industrie manufacturière et de sa répartition dans les différents sous-secteurs est traitée dans la présente section car de nombreuses interrelations existent entre les sous-secteurs. Par ailleurs, cette disposition permet de répondre aux attentes des instances internationales notamment vis-à-vis de la classification internationale des sources retenues pour la présentation des inventaires d'émission.

**Sources mobiles**

Les émissions liées à la combustion provenant de sources mobiles du secteur de l'industrie et du BTP (engins mobiles non routiers) sont comptabilisées sous ce terme. Les engins concernés sont essentiellement les équipements de machinerie tels que les chariots élévateurs, etc. Les engins de transport sont inclus dans les modes de transport correspondants.

Les équipements mobiles consommateurs d'énergie fossile dans le secteur de l'industrie et du BTP sont nombreux et divers. Les parcs d'engins mobiles non routiers (chargeuses, pelles mécaniques, bétonnières, etc.) sont issus de données internes de la profession fournies par EVOLIS [1030]. Par manque de données sur la série temporelle, une extrapolation est réalisée pour la répartition des consommations entre les différents EMNR mais les consommations globales évoluent bien selon les données du SDES [1].

#### 3.2.6.1.1 Métallurgie des métaux ferreux (1A2a)

**Production de fonte grise**

La production de fonte regroupe deux grands types de fonte :

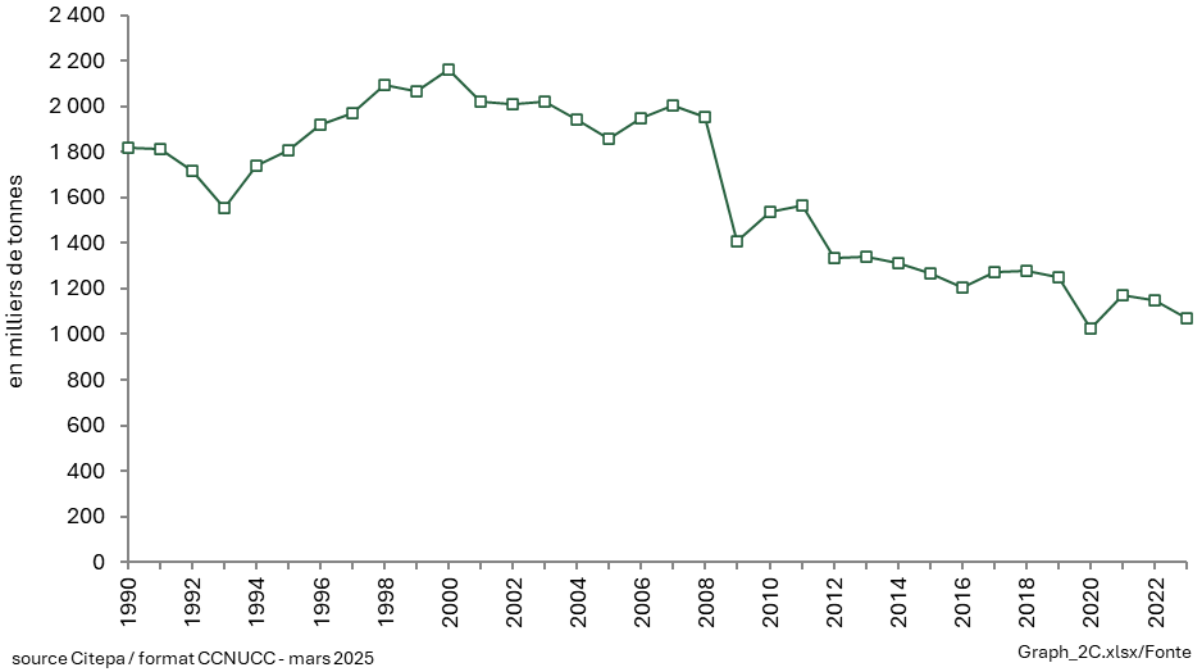
- la fonte graphite lamellaire (dite fonte grise),
- la fonte graphite sphéroïdale (dite fonte ductile).

Ces deux types de fonte servent à la fabrication de fonte hydraulique et de bâtiment, fonte sur modèle ou fonte sur album (selon le cahier des charges attendu par le client). La fonte est un alliage de fer et de carbone, contenant entre 2 % et 5 % de carbone, d'autres éléments tels que du silicium et du manganèse, ainsi que des impuretés, telles que du phosphore ou du soufre.

Les produits en fonte sont obtenus par le moulage de fonte liquide produite, soit immédiatement avant la coulée dans des fours à cubilot, soit par le réchauffage de lingots de fonte dans des fours à induction, à arc électrique ou rotatifs [253].

Les fours à cubilots, majoritairement utilisés en France, sont des fours remplis alternativement de couches de coke de houille et de minerais de fer où l'on souffle de l'air à la partie inférieure après avoir procédé à l'allumage du coke. A mesure de la combustion du coke, les charges de métal s'échauffent et descendent dans le cubilot et la fonte finit par arriver dans la zone de fusion où elle passe à l'état liquide.

**Figure 29 : Production de produits en fonte (périmètre UE)**




**Production d'acier**

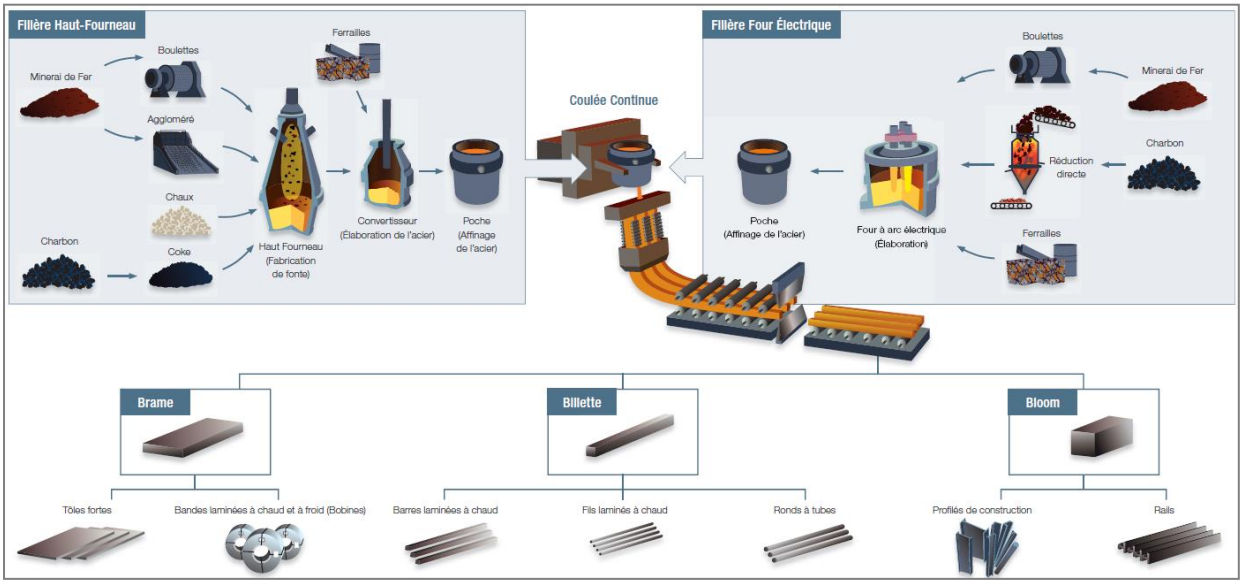
Les activités traitées dans cette section concernent la consommation de combustibles des ateliers sidérurgiques (émissions liées à la combustion).

- L'agglomération de minerai ;
- Les réchauffeurs de hauts-fourneaux ;
- Les fours de réchauffage pour les ateliers sidérurgiques autres que ceux précités.

Les émissions liées au procédé, concernant les autres activités (chargement des hauts-fourneaux, coulée des hauts-fourneaux, aciéries à l'oxygène, aciéries électriques et laminoirs) sont traitées dans la section « 2C1 - iron steel » (émissions non liées à la combustion). Les installations de combustion connexes nécessaires à l'activité sidérurgique sont traitées dans les sections générales énergie.

Le procédé et les différents ateliers de fabrication sont rappelés ci-dessous.

**Figure 30 : Représentation schématique des processus de production d'acier, selon les filières haut-fourneau et four électrique**




*Source : acier.org*

- *Agglomération de minerai*

La **chaîne d'agglomération** est un atelier dans lequel le minerai de fer est broyé et calibré en grains qui s'agglomèrent entre eux. L'ajout de liants (chaux, castine) et de poussier de coke conduit à la production d'agglomérés. L'aggloméré obtenu est concassé puis chargé dans le haut fourneau avec du coke. Le coke est un combustible résidu solide issu de la distillation de la houille.

- *Hauts-fourneaux*

Les **hauts-fourneaux** produisent de la **fonte** à partir du fer extrait du minerai (l'aggloméré) et du coke. Ces deux produits sont introduits par le haut du haut-fourneau. L'air chaud (1 200°C) insufflé à la base du haut-fourneau provoque la combustion du coke. L'oxyde de carbone formé réduit les oxydes de fer pour isoler le fer. La chaleur dégagée fait fondre le fer. Le mélange obtenu est la fonte. Les résidus formés (laitier) sont exploités par d'autres industries : construction de routes, cimenterie, etc. L'opération qui se déroule dans les hauts-fourneaux est consommatrice d'énergie fossile. Le processus de fabrication comprend, d'une part, la combustion d'énergie fossile (essentiellement du gaz de haut fourneau) dans les régénérateurs ou « cowpers », également appelés « réchauffeurs », qui s'apparente à une combustion sans contact et, d'autre part, des procédés non énergétiques tels que le chargement et la coulée au niveau du haut-fourneau. La présente section traite de la partie énergétique, tandis que les procédés non énergétiques sont traités dans la section « 2C1 - iron and steel ».

L'élaboration des aciers conduit à des traitements particuliers effectués soit dans les usines sidérurgiques intégrées, soit dans des usines distinctes, à partir de fonte, d'ajouts de diverses substances et dans des conditions de fonctionnement particulières (température, atmosphère, etc.). Différents procédés sont utilisés pour **fabriquer l'acier** : les **fours à oxygène** dans lesquels de l'oxygène est injecté et les **fours électriques**. Ces émissions de procédés sont traitées dans la section « 2C1 - iron and steel ».

- Autres ateliers

Les **autres ateliers sidérurgiques** (code SNAP 030302) et les **laminoirs** (code SNAP 040208) permettent de mettre en forme le métal (bandes, lingots, billettes, fils, poutres, etc.). Ces opérations sont consommatrices d'énergie et sources d'émissions diffuses, notamment de COVNM et de poussières. Les émissions liées aux usages énergétiques de combustible de ces opérations sont traitées dans la présente section. En revanche, les méthodes d'estimation émissions liées aux procédés, aussi appelées émissions diffuses pour ces activités, sont présentées dans la section 2C1_sidérurgie.Actuellement, deux sites intégrés de production d'acier sont encore en activité (présence du four à coke, du haut-fourneau, du convertisseur à oxygène, et de laminoirs), un site ayant fermé ses hauts-fourneaux et le four à oxygène en octobre 2011. Certains sites disposent d'une ou plusieurs activités spécifiques (hauts-fourneaux par exemple) sans posséder toute la chaîne de production d'acier.

Trois chaînes d'agglomération existent en France actuellement. Trois hauts-fourneaux dont deux au sein des sites intégrés sont encore en fonctionnement. Ces deux sites comptent les deux convertisseurs à oxygène encore présents sur le territoire français. Une vingtaine d'aciéries électriques existe en France.

#### 3.2.6.1.2 Métallurgie des métaux non ferreux (1A2b)

**Production de cuivre**

Cette section concerne la production de cuivre de première et seconde fusion.

Jusqu'en 2000, la production de cuivre de première fusion avait lieu sur un seul site en France. A partir de 1999, il n'y a plus de raffinage de cuivre de 1ère fusion, seulement transformation de cathodes achetées (déjà raffinées) en billettes. La production de cuivre de seconde fusion avait lieu sur deux sites et s'est achevée en 1998.

Il n'y a plus de production de cuivre de première ou de seconde fusion en France depuis 2000.

a/ Production de cuivre de première fusion :

80 producteurs dans le monde utilisent des techniques liées à la pyrométallurgie pour produire plus de 90% de la production totale de cuivre de première fusion.

Les différentes étapes du processus sont :

- Les mines produisent du minerai contenant 1% de cuivre. La concentration en cuivre s'effectue par concassage, passage sur tamis et flottation pour obtenir un minerai titrant 15 à 35% de cuivre.
- La production de cuivre de première fusion est ensuite réalisée par pyrométallurgie qui comprend 4 étapes principales :
    - la cuisson pour réduire les impuretés (soufre, antimoine, arsenic, plomb),
    - le produit obtenu est ensuite fondu et concentré pour aboutir à une mixture de sulfide de cuivre ($Cu_2S$),
    - la conversion du produit conduit au "blister" de cuivre titrant 98,5 à 99,5% de cuivre,
    - le produit subit enfin un raffinage thermique (moulage en anodes) puis est envoyé au raffinage électrolytique afin d'éliminer des dernières impuretés : le cuivre se dépose à la cathode et les dernières impuretés restent dans l'électrolyte.

Les cathodes de cuivre sont ensuite refondues dans un four de type ASARCO puis transformées en produits marchands (billettes et plateaux) dans un four de coulée continue.

b/ Production de cuivre de seconde fusion :

Le cuivre de seconde fusion est obtenu par fusion des déchets de récupération (fils électriques, laiton, bronze, etc.) contenant des proportions diverses en cuivre, puis converti en cuivre blister dans un convertisseur de type Pierce-Smith par exemple.

Les facteurs d'émission dépendent de la technologie de fusion adoptée et des matériaux utilisés. La seconde fusion du cuivre se déroule comme suit :

- Le prétraitement des déchets inclut le nettoyage et la préparation des déchets pour la fonderie.
- Le passage en fonderie consiste à chauffer les déchets pour séparer et purifier les métaux spécifiques.
- L'ajout facultatif d'un ou plusieurs métaux au cuivre obtenu permet d'obtenir la qualité désirée et les caractéristiques des différents alliages recherchés le cas échéant (principalement laiton et bronze).

**Production de magnésium**

Entre 1964 et 2001, la production de magnésium a eu lieu sur un seul site en France. Le site a fermé au cours de l'année 2001. Il n'y a plus de production depuis 2002. A partir de 2003, ce site de première fusion du magnésium devient une fonderie de seconde fusion classée parmi l'élaboration et l'affinage des alliages non ferreux [222].

Les émissions de $CO_2$ liées au phénomène de décarbonatation de la dolomie sont traitées en section 2A relative aux produits minéraux et à la décarbonatation. Les émissions de gaz fluorés liées à la production de magnésium sont traitées en section 2C relative à la métallurgie.

a/ Première fusion

En raison de la grande stabilité des composés et du caractère électrochimique du magnésium, son extraction des minerais exige une grande dépense d'énergie sous forme de courant électrique. La métallurgie est basée soit sur l'électrolyse du chlorure fondu, soit sur la réduction de l'oxyde, par l'intermédiaire de ferro-silicium (ou de charbon ou de carbure de calcium), favorisée par la volatilité du métal.

Le processus métallurgique se déroule en deux phases : la première est la préparation de chlorure ou de l'oxyde purs et la suivante l'extraction du magnésium à partir de ses composés.

- Préparation d'oxydes purs

La production en France était basée entièrement sur l'électrolyse du chlorure fondu, obtenu à partir de la dolomie. La dolomie ($MgCO_3$) est transformée en oxydes (MgO) par calcination qui sont soumis à un processus de réduction pour obtenir le métal.

- Production de métal

Le procédé électrolytique fut le premier à être mis au point. L'électrolyte est un mélange fondu de chlorures alcalins et de chlorure de magnésium (extraits de l'eau de mer).

Les procédés industriels de réduction thermique du magnésium sont bien plus récents (entre 1930 et 1940). Dans le principe, on chauffe un mélange de magnésie (MgO) obtenu à partir de la calcination de la dolomie - $MgCO_3$), d'un réducteur et de produits de scarification. Le magnésium métal est libéré à l'état gazeux : MgO + R → RO + Mg.

Le $SF_6$ était utilisé comme gaz inertant pour la production de magnésium notamment, en raison de la complexité du procédé. Il y avait donc des émissions de $SF_6$ dues à des fuites lors de la production [222]. Ces émissions sont traitées dans la section 2C relative aux procédés de la métallurgie. Les autres polluants étaient émis lors de la consommation de combustibles nécessaires au procédé [26].

b/ Seconde fusion

Outre le site précédemment évoqué après transformation, il existe également d'autres sites de production de magnésium de seconde fusion dont les émissions proviennent des mêmes sources. Ces sites utilisent aussi le $SF_6$ et des HFC comme gaz inertant. Les émissions de ces gaz fluorés sont traitées dans la section 2C relative aux procédés de la métallurgie.

**Productions de plomb et de zinc de première fusion**

Le plomb et le zinc de première fusion sont traités dans le même chapitre car historiquement un site commun produisait les deux métaux en France jusqu'en janvier 2003. Depuis cette année, il n'y a plus de production de plomb de première fusion en France et il n'existe plus qu'un site de production de zinc de première fusion. Ce site est séparé en deux entités depuis 2008 pour distinguer l'activité de production brute des activités d'affinage et de laminage. Par cohérence historique et pour conserver l'exhaustivité sur la période, les émissions des deux établissements sont considérées pour la production de zinc de première fusion.

**Productions de plomb et de zinc de seconde fusion**

Il n'y a plus véritablement de production de zinc de seconde fusion en France depuis 2002. Cependant, dans cette activité est comptabilisé un site qui valorise des poussières d'aciérie et des résidus zincifères pour produire des oxydes de Waelz fortement chargés en zinc.

Depuis 2012, il reste trois sites de production de plomb de seconde fusion en France. Deux sites ont fermé entre 2000 et 2002, et en 2012 un troisième site a recentré son activité uniquement sur le broyage des batteries (cf. section 2C relative aux procédés de la métallurgie). Le plomb et le zinc de première fusion sont traités dans la section « Production de plomb et zinc de première fusion » (1A2b).

a/ Plomb de seconde fusion

Le plomb de seconde fusion représente les quantités de plomb qui ont déjà fait l'objet d'une première fusion et/ou de plomb contenu dans des produits recyclés. Après un prétraitement, destiné par exemple à éliminer les matériaux indésirables des batteries ou à effectuer une première fusion sélective (ressuage) des vieux métaux, les matériaux sont placés dans des fours tournants, des fours réverbères ou des hauts-fourneaux, en condition réductrice (obtention de plomb antimonieux - mélange Pb-Sb) ou oxydante (obtention de plomb doux). Les procédés d'affinage ne diffèrent pas notablement de ceux utilisés en première fusion.

b/ Zinc de seconde fusion

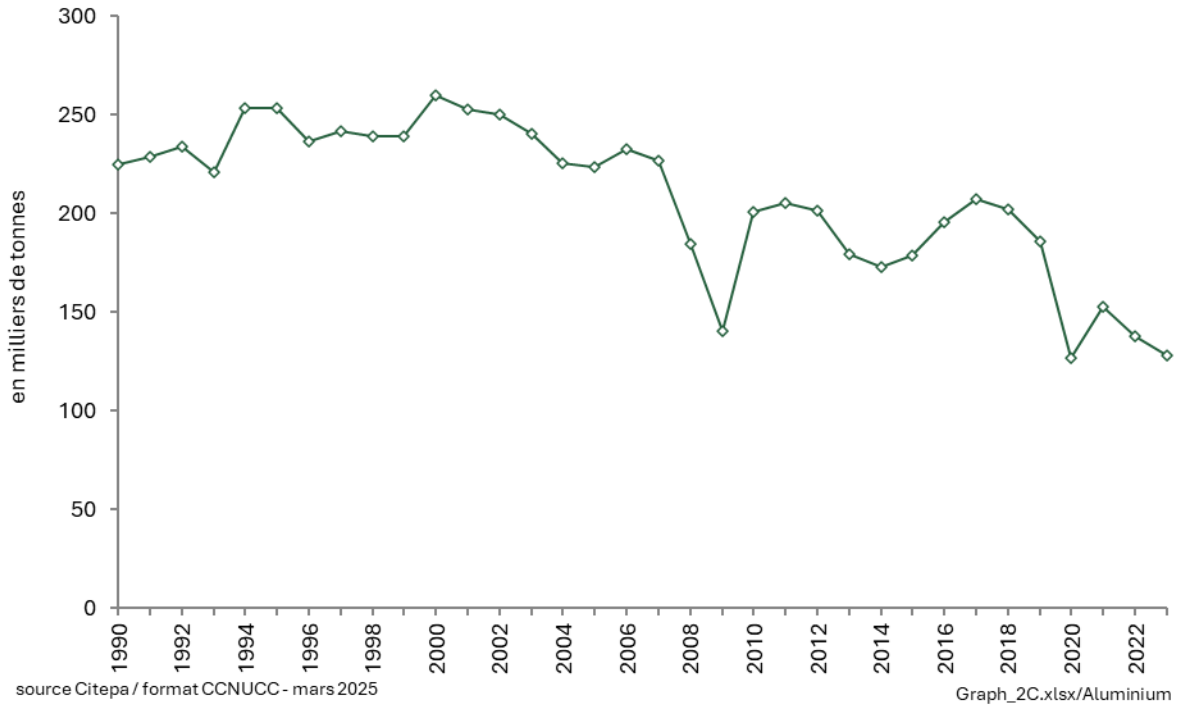
La récupération du zinc, dans les déchets métalliques ou vieux zinc, était nettement moins importante que pour les autres métaux (autour de 10 % de la production de zinc raffiné). Elle était, de plus, difficile à cerner autant du point de vue quantitatif, à cause de la réutilisation directe du zinc usagé dans la fabrication du laiton par exemple, que du point de vue qualitatif puisque les unités et les procédés utilisés n'avaient pu être répertoriés.

**Production d'aluminium secondaire**

L'activité concernée dans cette section est la production d'aluminium de seconde fusion. La production d'aluminium de première fusion (par électrolyse) est traitée dans la section 2C relative aux procédés de la métallurgie.

Outre la 1ère fusion, l'aluminium est également produit à partir d'une grande diversité de déchets (canettes de boisson usagées, feuilles minces, déchets commerciaux, métaux laminés ou coulés, résidus d'écrémage, laitiers salés, etc.), par l'industrie de 2nde fusion. Les produits à recycler passent dans un four de fusion afin de redevenir une matière première destinée à créer de nouveaux produits. Il existe actuellement une dizaine de sites en France (affineurs), de capacité variable, implantés sur tout le territoire.

**Figure 31 : Production d'aluminium de seconde fusion (périmètre UE)**




### 3.2.6.1.3 Autres fours (1A2c)

Cette section concerne les émissions provenant de la combustion de certains combustibles dans les fours de vapocraquage, dans les fours réalisant la synthèse d'ammoniac et dans les fours réalisant la synthèse d'acide cyanhydrique. La plus grande part des émissions est prise en compte dans les chapitres correspondants aux CRT 2B1, 2B8 et 2B10.

**Combustion de certains types de combustibles dans les fours de vapocraquage**

Le vapocraquage est un procédé pétrochimique qui consiste à obtenir, à partir d'une coupe pétrolière telle que le naphta ou des alcanes légers ($C_nH_{2n+2}$) les produits suivants :

- des alcènes (aussi appelés oléfines) : $C_nH_{2n}$ ; ex : éthylène ($C_2H_4$), propylène ($C_3H_6$), butène,
- des hydrocarbures aromatiques (cycliques insaturés) : benzène, toluène, xylène.

Les coupes pétrolières sont introduites en présence de vapeur d'eau (de l'ordre de 30 à 100 % en poids) dans le vapocraqueur qui possède une série de fours. Ce mélange est porté brutalement à 800°C pendant une fraction de seconde puis est très rapidement refroidi. Dans ces conditions, les molécules se scindent en plusieurs morceaux et donnent naissance à divers gaz (hydrogène, méthane, éthane, etc.), de l'éthylène, du propylène, du butadiène, de l'isobutène et d'autres produits insaturés.

Depuis octobre 2015, il reste six vapocraqueurs en activité, tous situés en métropole.

Les données disponibles détaillées (types, quantités et caractéristiques des combustibles, types d'équipements, mesures des émissions, bilans, etc.) [19] permettent une estimation assez fine des émissions de la combustion

Les combustibles gazeux sont du gaz naturel (NAPFUE 301), des déchets industriels gazeux (NAPFUE 307, 308 et 314) et parfois des combustibles liquides (NAPFUE 225). Les émissions liées au gaz naturel et aux combustibles liquides sont prises en compte dans cette section mais les déchets industriels gazeux sont considérés dans la section 2B10_ethylène propylène car il s'agit de sous-produits issus de la matière première introduite dans le vapocraqueur (naphta). Les émissions de ces sous-produits sont donc considérées dans la partie « procédé » comme le recommande les lignes directrices 2006 du GIEC [771].

**Combustion de gaz de réseau dans les fours d'ammoniac**

La synthèse de l'ammoniac est réalisée par reformage à la vapeur à partir du gaz de réseau (mélange de gaz naturel et biométhane, utilisé en tant que matière première). Une partie de la consommation de gaz de réseau des fours d'ammoniac est brûlée pour apporter de la chaleur au procédé afin que la réaction chimique puisse avoir lieu. Ce sont les émissions (hors $CO_2$) liées à cette consommation énergétique qui sont considérées dans cette section, celles liées à la consommation non-énergétique étant considérées en 2B1_ammonia.

Il y avait, en France, sept sites de production en activité en 1990. Depuis 2009, il restait quatre sites en activité suite à la fermeture de deux sites courant 2001 et un autre courant 2009. En 2023, un des quatre fours d'ammoniac restants a été mis à l'arrêt, sa fermeture restant à être confirmée. Ces divers changements justifient la baisse de l'activité observée.

**Combustion de gaz de réseau dans les fours d'acide cyanhydrique**

La synthèse de l'acide cyanhydrique est réalisée par réaction entre le gaz naturel et l'ammoniac à température élevée (> 1 000°C). Une partie de la consommation de gaz naturel des fours est utilisé en tant que combustible pour apporter de la chaleur au procédé. Ce sont les émissions liées à cette consommation énergétique qui sont considérées dans cette section, celles liées à la consommation non-énergétique étant considérées en 2B10 Chemical Industry / Other.

Il y a deux sites producteurs de cette substance en France et situés en métropole.

#### 3.2.6.1.4 Industrie agro-alimentaire (1A2e)

**Production de produits de fourrage vert déshydratés**

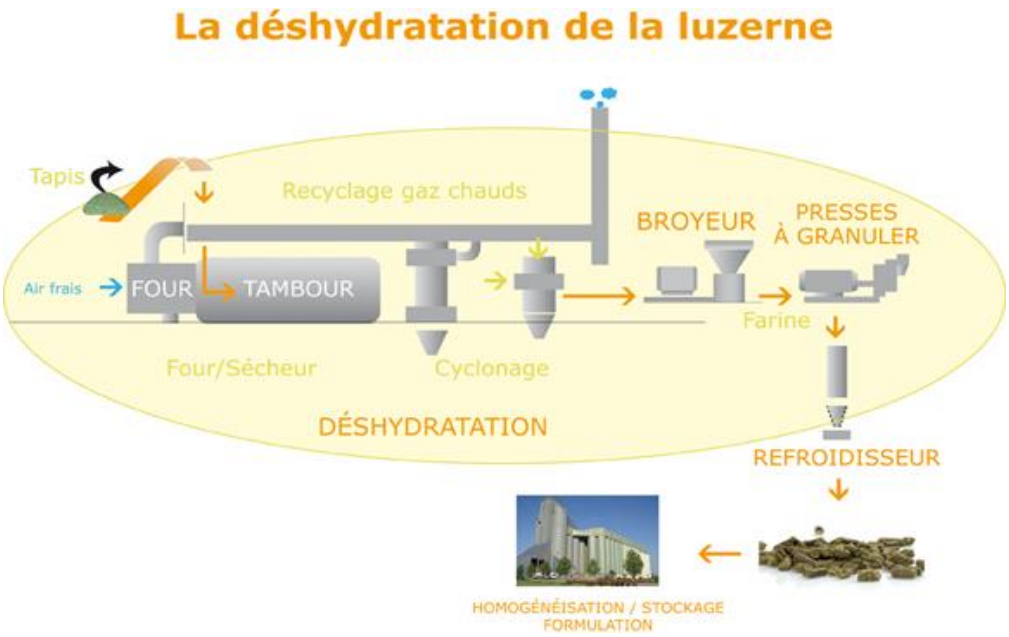
La déshydratation de fourrage vert permet de produire des aliments pour animaux (ruminants mais aussi chevaux, lapins, volailles, ...).

Le fourrage vert utilisé est essentiellement la luzerne puis la pulpe de betteraves et dans une moindres mesures d'autres produits. Les fourrages déshydratés se présentent sous forme de granulés ou de balles de fibres longues.

Les sécheurs fonctionnent actuellement au charbon, au lignite, à la biomasse ou au gaz naturel. La chaleur produite entre en contact avec le produit à sécher dans le sécheur (tambour rotatif).

Un important programme de substitution des énergies fossiles par des énergies renouvelables est mis en place dans la filière depuis ces dernières années, en parallèle de la quête perpétuelle de la réduction de la consommation énergétique.

Le schéma suivant présente le fonctionnement d'une usine de déshydratation de fourrage vert.




*Source : www.luzernes.org*

Les sites de production de fourrage vert n'existent qu'en France métropolitaine. Ils sont au nombre de 25 en 2023.

#### 3.2.6.1.5 Minéraux non métalliques (1A2f)

**Production de ciment**

Les principales étapes lors de la fabrication de ciment sont les suivantes :

- les matières premières sont extraites des carrières. Les émissions induites par les carrières ne sont pas comptabilisées dans cette section (cf. section relative aux carrières).
- des broyeurs sont utilisés pour réduire ces matières premières en poudre. La poudre obtenue est appelée "farine crue".
- cette farine est transformée en granules par addition d'eau. Les granules sont introduits dans un échangeur à grille pour séchage puis dans des fours dont la plupart sont des fours rotatifs. La température de la flamme est de 2 000°C et la température des matières de 1 450°C. Le produit obtenu est du **clinker**.
- le produit final, le ciment, est obtenu par ajout de produits tels que du gypse, des cendres volantes, etc.

Plusieurs procédés ont été ou sont utilisés en France :

- le procédé par voie sèche,
- le procédé par voie semi-sèche,
- le procédé par voie humide.

Le procédé par voie sèche est le procédé le plus utilisé en France.

Les données relatives à la production de ciment proviennent de communications de l'ATILH, qui fait partie du Syndicat Français de l'Industrie du Ciment [218].

Les sources de données relatives à la production de clinker qui ont été utilisées sont les suivantes :

- Jusqu'en 2004 : communication de la production nationale de clinker par l'ATILH [218] ;
- A partir de 2005 : utilisation des déclarations annuelles des sites industriels. Tous les sites pris en compte sont soumis au Système d'Echange de Quotas d'Emissions de l'Union européenne (SEQE-UE), ce qui permet d'assurer la fiabilité des déclarations. Les données de production nationale communiquées par l'ATILH sont utilisées pour contrôle de cohérence.

En 2023, il existe en France 25 usines de production de ciment dont 3 produisent du ciment aluminate (environ 4,3 % de la production nationale) et 6 centres de broyage répartis sur l'ensemble du territoire français.

**Production d'émail**

Cette section concerne uniquement les émissions provenant de la combustion dans les sites de production d'émail.

Les émissions de $CO_2$ liées au phénomène de décarbonatation dans les installations de production d'émail sont présentées dans la section relative aux procédés industriels (CRT 2A4).

En France, trois sites de production d'émail sont actuellement identifiés. Seuls deux de ces sites sont soumis à la déclaration annuelle des rejets de polluants atmosphériques du fait de leur taille. Faute d'informations, seuls ces deux sites sont retenus dans le calcul de l'inventaire national. Toutefois, l'autre petit site est pris en compte dans le solde du bilan de l'énergie.

De plus, depuis avril 2010, l'un de ces deux sites retenus dans l'inventaire national a fermé, donc les données de production de l'autre site sont confidentielles.

Le principe de fabrication d'émail est le suivant :

L'émail est un mélange de silice, minium, potasse et soude. Par la fusion à haute température de ces différents éléments, il est obtenu après broyage une poudre incolore appelée « fondant », qui par sa nature s'apparente davantage au cristal qu'au verre.

L'émail peut être soit transparent, soit opaque. La coloration du fondant s'obtient par addition d'oxydes métalliques réduits en poudre.

L'émaillage consiste à fixer la poudre d'émail sur son support métallique par des cuissons successives et rapides de l'ordre de 800°C. L'or, l'argent, le cuivre, l'acier peuvent constituer le support de toute pièce émaillée.

L'émail est utilisé essentiellement en verrerie et en céramique.

**Production de céramique**

Le terme "céramique" regroupe quatre grandes familles :

- la poterie,
- la faïence,
- le grès,
- la porcelaine.

La fabrication de céramiques fines se décompose en quatre étapes principales :

- la fabrication de la terre : les matières premières constituées de terres argileuses sont broyées avec de l'eau. Le grain obtenu est filtré puis pressé dans des filtres à presse. La terre subit ensuite une dernière opération : le désaérage (étape permettant de supprimer les bulles d'air).
- le façonnage ou modelage : étape de mise en forme du produit.
- la cuisson : avant d'être décoré, l'objet subit une première cuisson à 900°C dont le but est de sécher l'objet déjà façonné avant d'être émaillé. La porcelaine dure doit atteindre 1 400°C.
- la décoration : les couleurs sont obtenues grâce à des oxydes métalliques après cuisson – le bleu par le cobalt, le vert/turquoise par le cuivre, le jaune/rouge par le fer, le brun par le manganèse, le rose/pourpre par le chlorure d'or.

En 2022, il existait en France environ 80 usines de production de céramiques contre une vingtaine de plus au début des années 2000.

**Production de verre**

La production de verre se répartit en plusieurs secteurs :

- la production de verre plat (SNAP 030314) qui correspond aux glaces et verres à vitres, 6 sites de production en activité.
- la production de verre creux (SNAP 030315) qui comporte les bouteilles et bombonnes, les flacons et les pots industriels, la gobeleterie et les bocaux. Le verre creux, avec 31 sites en activité, est le poste le plus important dans la fabrication de verre puisqu'il représente plus de 60% de la production totale de verre en poids.
- la production de fibres de verre (en particulier laine de verre et fils de verre) (SNAP 030316) compte 9 sites en activité.

- la production de verre technique (SNAP 030317) qui regroupe en particulier, la lunetterie et l'optique, les ampoules, le verre pour télévision et radio, le verre de laboratoire, les isolateurs, compte 5 sites en activité.
- la production de fibre minérale (laine de roche) (SNAP 030318), uniquement 4 sites en activité.

Tous les sites de production de verre sont localisés en France métropolitaine.

Les sources de données relatives à la production qui ont été utilisées sont les suivantes :

**Verre plat (030314)** : de 1990 à 2010, les données proviennent des statistiques du SESSI/INSEE [53]. Les statistiques de l'INSEE ne sont plus disponibles depuis 2011. Pour pallier ce problème, une production est estimée sur la base des déclarations individuelles des industriels [19] de l'année en cours et d'un ratio entre le total des déclarations individuelles et la donnée des statistiques relatives à l'année 2011. À partir de 2016, seules les déclarations individuelles des industrielles sont utilisées pour déterminer les niveaux de production [240].

**Verre creux (030315)** : de 1990 à 2013, les données proviennent de la Fédération des Industriels du Verre [457]. Le rapport d'activité de la Fédération des Industriels du Verre n'est plus disponible depuis 2014. Pour pallier ce problème, une production est estimée sur la base des déclarations individuelles des industriels [19] de l'année en cours et d'un ratio entre le total des déclarations individuelles et la donnée des statistiques relatives à l'année 2013. Depuis 2016, les données sont communiquées directement par la Fédération des Industries du Verre [240].

**Fibre de verre (030316)** : de 1990 à 2010, les données proviennent des statistiques du SESSI/INSEE [53]. Les statistiques de l'INSEE ne sont plus disponibles depuis 2011. Pour pallier ce problème, une production est estimée sur la base des déclarations individuelles des industriels [19] de l'année en cours et d'un ratio entre le total des déclarations individuelles et la donnée des statistiques relatives à l'année 2011. Depuis 2016, les données sont communiquées directement par la Fédération des Industries du Verre [240].

**Verre technique (030317)** : de 1990 à 2004, les données proviennent des statistiques du SESSI/INSEE [53]. Depuis 2005, le SESSI ne fournit plus de donnée sur cette activité. Comme des écarts importants sont observés entre les statistiques de la Fédération des Industriels du Verre [457] et les statistiques du SESSI, la production retenue correspond à l'évolution entre deux années des statistiques de la Fédération des Industriels du Verre appliquée à la dernière année disponible du SESSI. Le rapport d'activité de la Fédération des Industriels du Verre n'est plus disponible depuis 2014. Pour pallier ce problème, une production est estimée sur la base des déclarations individuelles des industriels [19] de l'année en cours et d'un ratio entre le total des déclarations individuelles et la donnée des statistiques relatives à l'année 2013. Depuis 2016, les données sont communiquées directement par la Fédération des Industries du Verre [240].

**Fibre minérale (030318) :** depuis 2001, les données de production proviennent des déclarations individuelles des industriels [19]. Avant cette date, faute de données précises, il est fait l'hypothèse du maintien de la production de 2001 depuis la date de création de chaque site industriel.

La production de verre totale correspond à la somme de ces différentes productions.

Les différentes étapes intervenant dans la fabrication du verre sont les suivantes :

- Le calcin, nécessaire à la fusion, est une matière première qui est, soit produite par l'installation (réutilisation du surplus de production, récupération des pièces rejetées par le contrôle qualité, etc.), soit récupérée à l'extérieur (recyclage du verre).
- Les matières premières utilisées lors de la fabrication de verre sont : la silice sous forme de sable, l'oxyde de sodium sous forme de carbonate, les éléments alcalino-terreux sous forme de chaux ou de dolomie.
- La fusion de ces matières premières ainsi que du calcin s'effectue, soit dans un four de combustion, soit dans un four électrique à une température de 1 550 °C.
- Le verre incandescent en fusion quitte le four pour passer dans l'avant bassin où il est amené à sa température de travail (500 °C).
- Il s'écoule ensuite par des goulottes jusqu'aux machines.

En 2023, il existait en France 55 usines de production de verre qui se répartissaient en 31 sites de production de verre creux, 5 sites de production de verre technique, 6 sites de production de verre plat, 9 sites de production de fibre de verre et 4 sites de production de laine de roche. Cette répartition a peu évolué au cours des dix dernières années.

**Production de chaux**

Cette section concerne uniquement les installations de combustion des installations de production de chaux. Il s'agit donc des émissions liées à la combustion des combustibles dans les fours.

La partie relative à la décarbonatation provenant des installations de production de chaux (incluant les émissions liées à la production de chaux en sucreries) est traitée dans la section relative au code CRT 2A2.

Les auto-producteurs de chaux des secteurs de la papeterie et de la sucrerie sont pris en compte dans les secteurs correspondants.

La fabrication de la chaux se déroule en plusieurs étapes dont les principales sont les suivantes :

- Le calcaire est extrait des carrières. Il est l'élément de base de la fabrication de la chaux. Les émissions provenant des carrières ne sont pas comptabilisées dans cette partie.
- Le calcaire est concassé puis introduit dans des fours verticaux ou des fours rotatifs. Les combustibles utilisés diffèrent selon les fours. Le produit obtenu est de la chaux vive.
- Le passage de la chaux vive à la chaux éteinte se fait par réaction chimique exothermique, dite hydratation. Cette réaction a lieu dans un appareil appelé hydrateur où chaux et eau sont mises en contact.

Deux types de production de chaux sont à distinguer :

- d'une part, la **chaux aérienne** [190], également appelée chaux grasse ou chaux calcique et, d'autre part, la **chaux magnésienne**. La chaux aérienne est principalement constituée d'oxyde ou d'hydroxyde de calcium qui durcit lentement à l'air sous l'effet du $CO_2$ présent dans l'air. La chaux magnésienne est constituée intégralement d'oxyde ou d'hydroxyde de calcium et de magnésium. Elle résulte de la calcination de la dolomie.
- d'autre part, la production de **chaux hydraulique** [19, 196] produite par la calcination d'un calcaire plus ou moins argileux et siliceux avec réduction en poudre par extinction avec ou sans broyage. Elle est constituée d'hydroxyde de calcium, de silicates et d'aluminates de calcium.

Selon les substances et le type de chaux, les approches méthodologiques utilisent :

- soit des données spécifiques aux installations sur une base individuelle qui servent, par extrapolation à déterminer les émissions de l'ensemble des installations,
- soit des données nationales de production et de facteurs d'émission associés (exemple : cas des particules),
- soit des données nationales de consommation d'énergie et de facteurs d'émission (nationaux ou spécifiques à une année donnée).

En 2023, il existait en France 16 usines de production de chaux aériennes et magnésiennes (contre 18 au début des années 2000) et 5 sites de production de chaux hydraulique dont 2 ayant une capacité inférieure à 4000 t/an.

La répartition de la production nationale par type de chaux pour l'année 2023 est la suivante :

- chaux aérienne, 79,7 %,
- chaux magnésienne, 3,1 %,
- chaux hydraulique, 6,1 %,
- chaux en sucrerie, 11,1 %.

**Production de plâtre**

Le plâtre est produit à partir de gypse. Le gypse est un sulfate de calcium hydraté, de formule $Ca(SO_4)_2H_2O$. C'est le sulfate naturel le plus distribué dans la nature. Le plâtre est préparé à partir du gypse naturel par chauffage à une température peu élevée.

La cuisson des gypses peut avoir lieu dans différents types de four : à chambre, à cuve ou tubulaire rotatif.

Différents types de plâtre sont obtenus suivant la température de cuisson :

- plâtres à prise rapide, préparés à basse température (107°C), qui prennent en 1 ou 2 minutes,
- plâtres à staff et à stuc, préparés à une température inférieure à 180°C, qui prennent en 3 à 4 minutes,
- plâtres d'ouvrages, préparés à une température de 200 à 230°C, qui prennent en plusieurs minutes.

Lorsqu'on atteint une température de 600°C, le gypse n'a pratiquement plus de prise et est appelé « plâtre mort ». Cependant, si on atteint 900 à 1 200°C, le composé perd une partie du sulfate et devient de la chaux (CaO) qui présente une bonne résistance mécanique et que l'on emploie comme hourdis pour carrelages, dallages, etc. (plâtre à carrelage).

**Production de tuiles et briques**

La fabrication de tuiles et briques se décompose en plusieurs étapes :

- La matière première est extraite des carrières.
- Un mélange constitué de 20 % d'argile jaune et 80 % d'argile noire est passé au broyeur puis stocké pendant trois semaines afin de lui assurer une parfaite malléabilité.
- De l'eau et des produits complémentaires tels que du calcaire sont ajoutés à l'argile.
- Une mouleuse constitue ensuite des galettes qui sont emmenées vers des moules types.
- Les tuiles formées sont ensuite séchées dans un sécheur tunnel pendant 12 heures à une température de 85°C.
- De couleur rouge grâce à l'oxyde de fer très présent dans l'argile, les tuiles peuvent être colorées avec des pigments d'origine naturelle par exemple.
- Les tuiles sont ensuite cuites pendant 21 heures dans des fours tunnel. La température peut atteindre environ 1 100°C.

En 2023, il existait en France environ 130 usines de production de tuiles et briques, dont une en Martinique, réparties entre la production de tuiles, de briques de façade, de briques de structure et d'autres produits dont une quarantaine est soumise au SEQE-UE. Elles se répartissent entre 85 sociétés différentes. Ce nombre d'entreprises est relativement stable sur la dernière décennie.

#### 3.2.6.1.6 Autres secteurs (1A2g)

**Production d'enrobés routiers**

Cette section concerne les émissions provenant de la combustion dans les stations de production d'enrobés routiers.

La fabrication d'enrobés routiers se décompose en plusieurs étapes :

- la sélection et le transport de la matière première. Au cours de cette étape, les agrégats sont concassés au niveau de la carrière afin d'obtenir des éléments de taille standard. La matière première est généralement constituée de pierres et de cailloux mais on utilise parfois également du verre pilé.
- l'asphalte est produit, soit par un procédé continu, soit par un procédé discontinu. Simultanément, la matière première (pierres et cailloux concassés) est transportée dans un sécheur puis passe à travers un jeu de tamis.
- l'opération finale consiste à mélanger la matière première et l'asphalte dans une cuve spéciale.

Les centrales d'enrobage mobiles se partagent par moitié entre les procédés continus et discontinus.

La consommation de bitume représente entre 6% et 8,5% de la production d'enrobés.

Les émissions déterminées dans cette section sont celles provenant de l'utilisation de combustibles pour alimenter les fours (sécheurs).

### 3.2.6.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/fr/ominea/

**Sources fixes**

La méthode appliquée est de rang GIEC 2 ou 3 selon les substances (c'est-à-dire la spécificité des facteurs d'émission de chaque installation et leur poids dans l'ensemble du secteur).

L'activité des secteurs de cette catégorie CRT 1A2 est caractérisée par la consommation d'énergie.

L'industrie manufacturière fait l'objet d'une classification en sous-secteurs définis dans les formats de restitution des inventaires d'émission (voir plus loin).

Par ailleurs, la nécessité de prendre en compte la nature des équipements de combustion (chaudières, turbines à gaz, moteurs, fours avec et sans contact entre la flamme ou les produits de combustion et la matière première), engins mobiles à moteur thermique, etc. mais également les équipements de dépollution, la taille des installations, etc., tous paramètres influents sur les émissions de certaines substances, est également à considérer.

Ces critères rendent complexes la détermination des consommations d'énergie car il n'existe pas de statistiques appropriées prêtes à cet emploi environnemental. Les consommations énergétiques sont donc reconstituées pour les divers sous-ensembles considérés à partir des statistiques et données disponibles. A cet effet, plusieurs sources sont utilisées :

- Le bilan de l'énergie du SDES [1] qui couvre l'ensemble de l'industrie y compris l'industrie du bâtiment et des travaux publics (BTP) et la production du tabac, quelle que soit la taille de l'entreprise. Cette statistique propose une répartition des consommations selon les différents sous-secteurs mais la série temporelle n'est pas toujours cohérente. Le bilan de l'énergie du SDES fournit également la part de biométhane consommé, qui est ensuite retranchée à la consommation totale de gaz de réseau. L'autoproduction d'énergie n'est pas incluse dans la catégorie « industrie » par le SDES, elle est incluse dans les secteurs de la transformation d'énergie. Ces consommations sont réallouées par le Citepa aux secteurs autoproducteurs, dont l'industrie, le raffinage et le tertiaire, selon des clés de répartition fournies par le SDES. En revanche, la chaleur produite par des tiers (site en NAF 35) et vendue à l'industrie manufacturière, est comptabilisée dans la catégorie « production d'électricité et de chaleur » (1A1a), en accord avec les lignes directrices du GIEC.
- L'enquête annuelle des consommations d'énergie dans l'industrie [26] qui couvre l'autoproduction d'énergie et la consommation de combustibles tels que biomasse et déchets depuis 2006. Le BTP et l'industrie du tabac ne sont pas inclus dans le champ qui se limite en outre aux entreprises de plus de 20 salariés (10 salariés pour les industries agro-alimentaires). En règle générale, plus de 15 000 établissements sont enquêtés chaque année dont tous les gros consommateurs d'énergie.
- L'inventaire des Grandes Installations de Combustion (GIC) [39] dans lequel les données sont disponibles par combustible pour les installations de plus de 50 MW.
- Les données relatives aux déclarations annuelles des rejets de polluants [19] qui comportent des informations relatives aux différents combustibles consommés et à leurs caractéristiques pour chaque installation.
- Les données statistiques publiques ou internes produites par certains secteurs tels que la sidérurgie [27], la production de ciment [28] et la production d'enrobage routier [64].
- Les données relatives à l'Outre-mer fournies par le CPDP [14] et les observatoires régionaux (cf. section générale énergie).
- Les données relatives aux installations soumises au système d'échange de quotas d'émissions (SEQE) : les déclarations annuelles de rejets [19] fournissent les consommations de combustibles particuliers non prises en compte dans les statistiques nationales, et qui sont donc à ajouter au bilan national. Les données SEQE permettent par ailleurs d'effectuer un contrôle de cohérence et vérifier que les émissions totales d'un secteur SEQE ne dépassent pas les émissions du secteur correspondant dans l'inventaire.

Les différences entre les champs des diverses sources sont illustrées par les figures ci-après respectivement en ce qui concerne la couverture sectorielle et la couverture des combustibles.

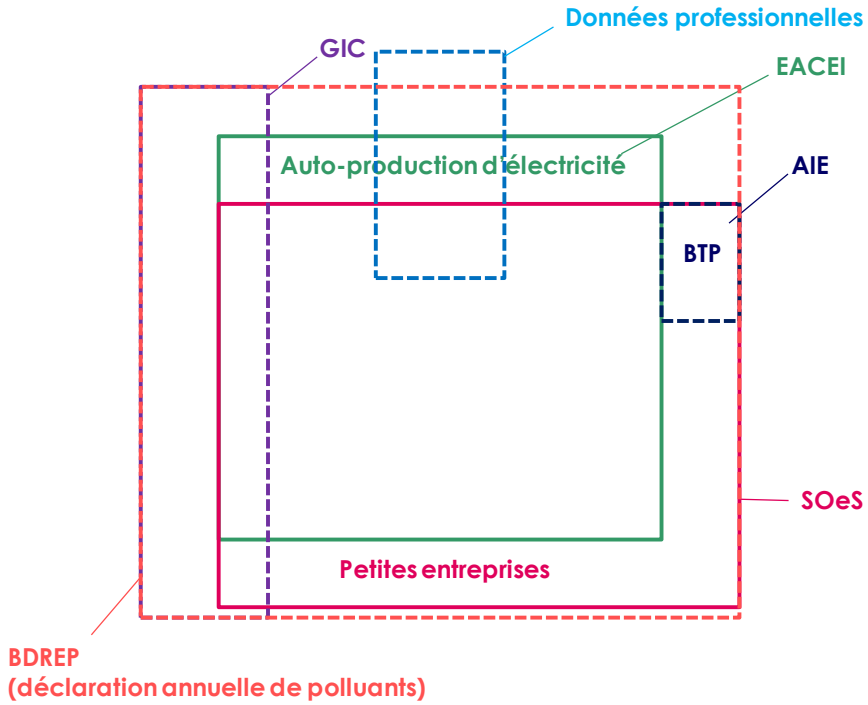



**Figure 32 : Périmètres des sources relatives aux bilans énergétiques**

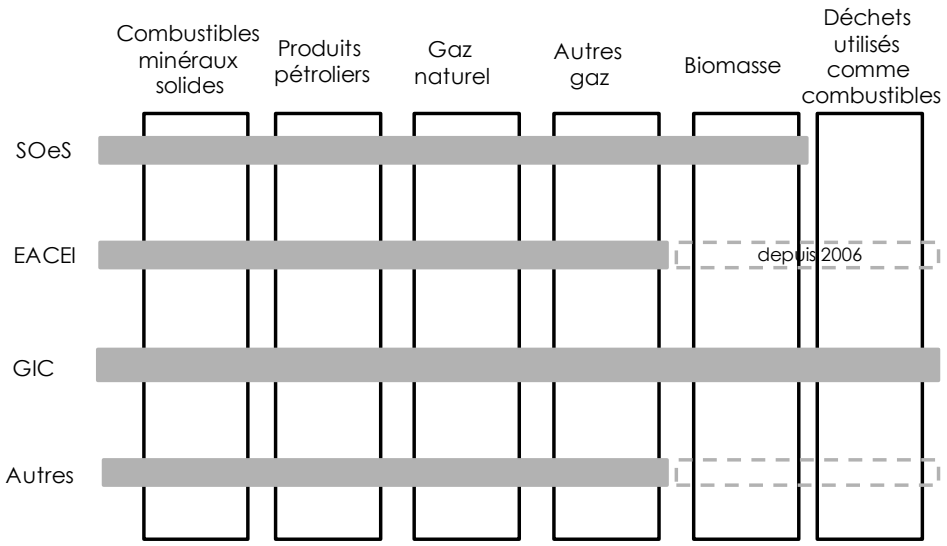



**Figure 33 : Périmètres relatifs aux combustibles dans les bilans énergétiques**

Les caractéristiques des combustibles prises en compte sont celles disponibles pour les installations considérées individuellement [19, 39] (les plus gros consommateurs généralement). A défaut, les caractéristiques moyennes par défaut sont utilisées (cf. section générale énergie). A noter que les produits dérivés ou déchets utilisés comme combustibles le sont généralement dans des installations de taille importante et sont appréciés sur une base individuelle. L'incertitude sur les niveaux d'activité s'en trouve donc réduite.

Les sous-secteurs identifiés sont ceux définis par les Nations Unies dans le CRT et le NFR.

Le système d'inventaire retient huit sous-secteurs dont deux constituent après agrégation le sous-secteur « autres industries » du CRT / NFR.

Les définitions de ces sous-secteurs figurent dans le tableau ci-après :

**Tableau 64 : Sous-secteurs du système d'inventaire**

**SELON LE REFERENTIEL NAF rév.2 (version 2008)**

| Référentiel CCNUCC / CRT et CEE-NU / NFR | | | | Référentiel SNIEBA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Secteur | ISIC rev 4 | NACE rev 2 | NAF rev 2 | Secteur | Retenu |
| Iron and steel | 241, 2431 et 25 | 24 (en partie) | 24.1 et 24.5 (en partie) | Sidérurgie et métaux ferreux | NCE E16, E17 et E29 |
| Non-ferrous metals | 242 et 2432 | 24 (en partie) | 24.4, 2453Z et 2454Z | Métaux non ferreux | NCE E18 |
| Chemicals | 20, 21 et 22 | 20, 21 et 22 | 20, 21 et 22 | Chimie | NCE E23 à E28 |
| Pulp, paper and print | 17 et 18 | 17 et 18 | 17 et 18 | Pâte à papier et carton[19] | NCE E35 |
| Food processing, beverages and tobacco | 10, 11 et 12 | 10, 11 et 12 | 10, 11 et 12 | Industries agro-alimentaires | NCE E12 à E14 |
| Non-metallic minerals | 23 | 23 | 23 | Minéraux non métalliques | NCE E19 à 22 |
| Other | 13 à 16, 26 à 32 | 13 à 16, 26 à 32 | 13 à 16, 26 à 32 | Equipements et matériels de transports | NCE E30 à 33 |
| | | | | Divers industrie | NCE E15, E34, E36 à E38 |

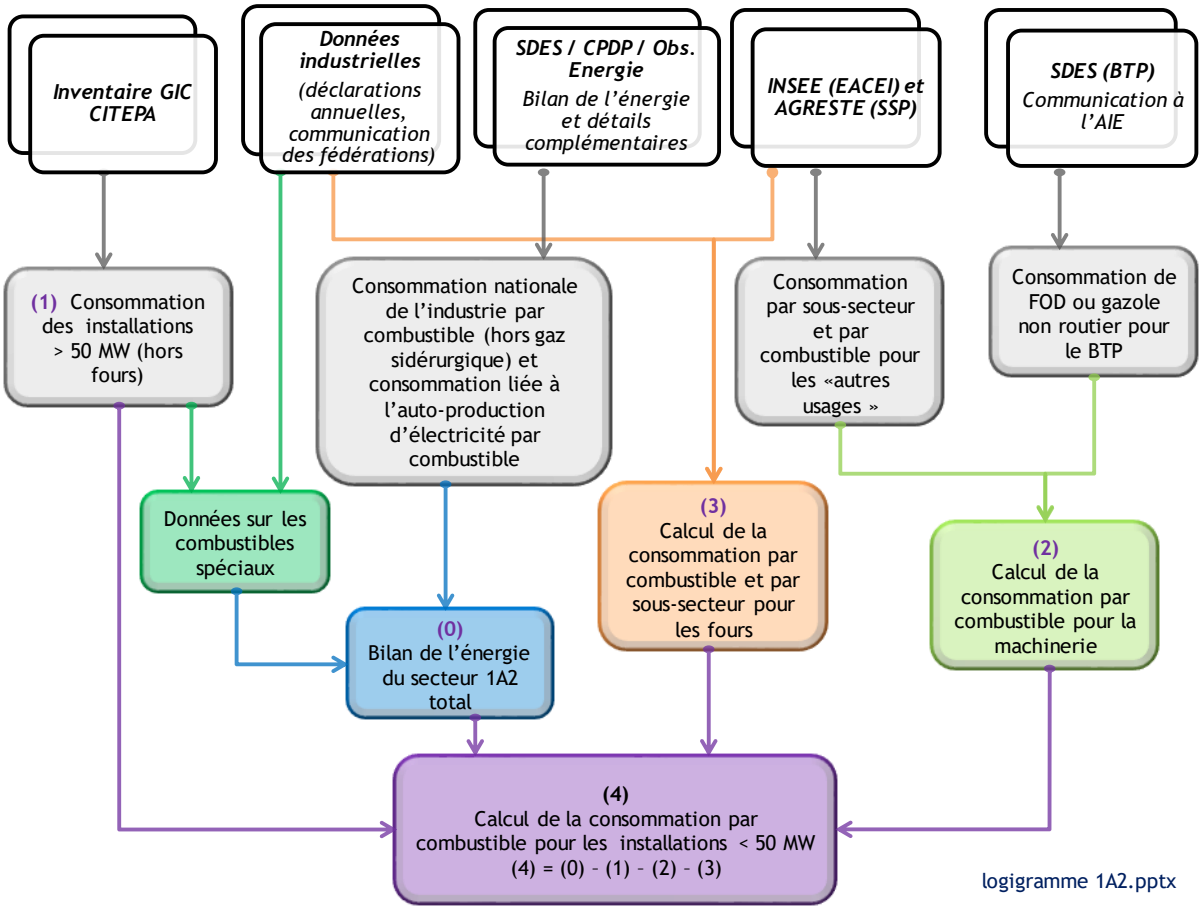
Pour des raisons de confidentialité statistique, l'EACEI ne couvre pas l'industrie du tabac qui se retrouve de facto répartie sur l'ensemble des secteurs et pas nécessairement dans le secteur de l'industrie agro-alimentaire.

Le logigramme ci-après décrit les différentes phases de traitement de l'information qui aboutissent :

[19] y compris Imprimerie.

- d'une part, à déterminer les consommations de combustibles fossiles, de biomasse et de déchets valorisés dans des installations de combustion hors incinération pour les différents secteurs de l'industrie,
- d'autre part, à déterminer les consommations des mêmes combustibles pour les catégories SNAP relatives à la combustion sous chaudières (SNAP 0301XX), dans des fours sans contact (SNAP 0302xx) et avec contact[20] (SNAP 0303xx) qui servent de données d'activité.

**Figure 34 : Logigramme du processus d'estimation des consommations d'énergie en France métropolitaine**




Des ajustements sont introduits pour boucler, in fine, avec le bilan énergétique national. Ces ajustements qui sont généralement limités et quantitativement faibles s'expliquent par les différences structurelles des diverses sources d'information, la prise en compte de données spécifiques à certaines installations, etc.

Les émissions sont calculées à partir des consommations d'énergie et des facteurs d'émission éventuellement spécifiques à certaines catégories d'installation, voire par installation lorsque les données sont disponibles (notamment les GIC).

Les consommations d'énergie relatives à tous ces sous-ensembles représentent une grande quantité de données gérée par des bases de données qui ne peut être fournie ici. Un récapitulatif plus détaillé par type de combustible est présenté en annexe 13 pour quelques années à partir de 1990.

Les équipements tels que les turbines à gaz, les moteurs fixes et les autres équipements thermiques (fours exceptés), sont assimilés aux chaudières car les parcs de ces équipements ne sont pas connus avec assez de précision. Les engins mobiles font l'objet d'une estimation distincte associée à des facteurs d'émission spécifiques.

La détermination des émissions des installations visées est effectuée au moyen de plusieurs approches potentielles :

- La mesure directe des émissions en continu au moyen de chaînes de mesurage automatiques. Ces dispositifs sont imposés par la réglementation pour certaines substances aux installations dont les rejets dépassent certains seuils, ou présentent un caractère de dangerosité ou de toxicité. En deçà de ces seuils, la mesure peut être périodique.

[20] se dit des installations où les produits de la combustion entrent en contact avec d'autres produits tels que des matières premières dans certains fours.

- L'estimation des rejets est également effectuée au moyen de bilans matières pour certaines installations et certaines substances ($CO_2$, $SO_2$, métaux lourds, etc.) sous certaines conditions de représentativité.
- La modélisation des émissions est également envisageable mais relativement peu pratiquée car complexe et onéreuse à mettre en œuvre.
- Le recours à des facteurs d'émission est très fréquent notamment pour les substances non visées par les approches précédentes, mais aussi comme indicateur représentant in fine la quantité rejetée au cours d'une période donnée par rapport à une unité d'activité.

Les données disponibles que constituent les déclarations des exploitants aux DREAL [19] comportent de nombreuses indications qui sont basées sur les approches citées ci-dessus. Ces informations sont exploitées au niveau de chaque installation pour les plus importantes, notamment pour réaliser certains inventaires (cf. inventaire GIC). Ce processus permet une prise en compte des spécificités de chaque installation le cas échéant (par exemple, tenir compte de la teneur en soufre du combustible spécifiquement consommé par l'installation). A défaut d'être disponible, l'information recherchée est remplacée, soit par un bilan matière, soit par l'utilisation d'un facteur d'émission moyen qui peut toutefois rester spécifique d'un type d'équipement, d'une taille d'installation, etc.

Ces facteurs d'émission sont développés dans les sous-sections suivantes propres aux différentes catégories de polluants.

Les secteurs présentant des spécificités sont développés dans des sections particulières (sidérurgie, métaux non ferreux, etc. – catégories CRT 1A2a, 1A2b, 1A2g et 1A2f) tandis que pour les autres secteurs ne comportant que des installations de combustion relativement classiques et homogènes (catégories CRT 1A2c, 1A2d et 1A2e), les éléments généraux développés dans la présente section et ses sous-sections sont directement applicables.

Concernant la sidérurgie, les flux énergétiques présentent une complexité dans la répartition des usages énergétiques et non énergétiques correspondant aux catégories CRT 1A2a, 1B1b et 2C1. En ce qui concernent les rejets de $CO_2$ et $CH_4$, en accord avec les lignes directrices du GIEC, les émissions issues de la combustion de combustibles minéraux solides (hors gaz sidérurgiques consommés dans les chaudières) sont allouées au CRT 2C1. En ce qui concerne le $N_2O$, d'après les lignes directrices du GIEC, les émissions de la combustion de combustibles minéraux solides sont réparties entre usages énergétiques et non énergétiques selon les divers usages (i.e. ateliers sidérurgiques). Toutes les émissions liées à la combustion de combustibles liquides et gaz naturel sont considérées en tant qu'usage énergétique, et donc allouées au CRT 1A2. Les émissions liées aux gaz sidérurgiques vendus à d'autres sites sont allouées aux secteurs consommateurs.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les facteurs d'émission spécifiques nationaux ou par sites sont appliqués selon les secteurs (cf. section générale énergie).

Pour les combustibles particuliers, connus grâce aux déclarations annuelles de rejets [19] dans le cadre du système d'échange de quotas d'émissions (SEQE), des facteurs d'émission spécifiques recalculés d'après les déclarations sont utilisés.

Les émissions de $CO_2$ des consommations de combustibles solides au sein des ateliers sidérurgiques (liées à la combustion, cf. section 1A2a « Iron and steel »), hors GIC, sont désormais allouées au CRT 2C1, conformément aux lignes directrices du GIEC 2006.

***Emissions de $CH_4$ et $N_2O$***

Les émissions de $CH_4$ et $N_2O$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les valeurs par défaut par combustible proviennent du GIEC 2006 [624].

Comme pour le $CO_2$, les émissions de $CH_4$ liées aux consommations de combustibles solides au sein des ateliers sidérurgiques (liées à la combustion, cf. section 1A2a « Iron and steel »), hors GIC, sont également désormais allouées au CRT 2C1 conformément aux lignes directrices du GIEC 2006. Les émissions de $N_2O$, ne pouvant être rapportées dans le CRT 2C1, sont allouées au CRT 1A2a comme auparavant.

**Sources mobiles**

La méthode appliquée est de rang GIEC 1 ou 2 du fait de l'utilisation de FE provenant de la littérature et de FE nationaux.

Il est fait l'hypothèse que les engins spéciaux dans l'industrie ne consomment que du fioul domestique (FOD) et du gaz de pétrole liquéfié (GPL). A partir de 2011, il ne s'agit plus de FOD mais de gazole non routier (GNR). Cependant, les consommations énergétiques n'étant pas connues spécifiquement dans les statistiques, des hypothèses sont formulées, à savoir qu'une part des "autres usages" des consommations d'énergie dans l'industrie [26] est affectée à ce type d'engins.

Par ailleurs, l'enquête EACEI [26] ne prend pas en compte le secteur du BTP (Bâtiments et Travaux Publics). Il est fait l'hypothèse que les engins de ce secteur ne consomment que du FOD jusqu'en mai 2011 et uniquement du GNR par la suite. Les données de consommations proviennent du bilan de l'énergie produit par le SDES [1].

Les caractéristiques des combustibles prises en compte sont les caractéristiques moyennes par défaut (cf. section générale énergie). Les consommations d'énergie pour l'ensemble du secteur de l'industrie manufacturière sont indiquées en annexe 13.

Les émissions sont calculées à partir des consommations d'énergie estimées et des facteurs d'émission retenus pour chaque sous-ensemble « équipement x combustible » qui tiennent compte des avancées technologiques au travers des réglementations en vigueur. Une activité globale pour chaque combustible et des facteurs d'émission pondérés sont recalculés.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les valeurs nationales (par combustible) sont appliquées uniformément à tous les équipements (cf. section générale énergie).

***Emissions de $CH_4$***

Le calcul des émissions fait intervenir de multiples hypothèses sur la nature des équipements et leur utilisation. Les facteurs d'émission sont établis sur la base de plusieurs références [71, 141, 1029] et varient selon le combustible et les années, en fonction de l'évolution des réglementations et de la composition du parc.

Pour information, les facteurs d'émission correspondant à chaque niveau de la réglementation pour les engins diesel sont présentés ci-après :

**Tableau 65 : Facteurs d'émission du $CH_4$ par gamme et par norme d'engin**

| g/GJ | Pré-Directive | Stage I | Stage II | Stage IIIa | Stage IIIb | Stage IV | Stage V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Compacteuses à plaque vibrante, bétonnières | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 1,4 |
| Chargeuses compactes | 3,9 | 3,9 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 0,9 |
| Trancheuses | 3,9 | 3,9 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 0,9 |
| Rouleaux | 3,3 | 1,3 | 0,9 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Pelles mécaniques, finisseurs | 3,3 | 1,3 | 0,9 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | 0,3 |
| Bulldozers, chargeuses, tractopelles | 2,7 | 0,9 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Niveleuses | 1,1 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |

***Emissions de $N_2O$***

Le calcul des émissions fait intervenir de multiples hypothèses sur la nature des équipements et leur utilisation. Les facteurs d'émission proviennent du GIEC 2006 [624].

#### 3.2.6.2.1 Métallurgie des métaux ferreux (1A2a)

**Production de fonte grise**

Dans les fours à cubilot, le coke de houille contenant du soufre, sa combustion entraîne des émissions de $SO_2$. Les polluants associés à la combustion sont également émis : NOx, COVNM, $CH_4$, CO, $CO_2$, etc.

Les autres types de fours (fours à arc électriques, à induction ou rotatifs) ne présentent pas d'émission relative à la plupart des substances considérées dans l'inventaire contrairement aux fours à cubilot cités précédemment.

Les particules sont considérées émises plutôt lors du moulage que lors de la combustion.

Les émissions sont calculées à partir de la production nationale de fonte ([622] de 1960 à 1980, [957] à partir de 1981) et de facteurs d'émission. Pour les gaz à effet de serre, la consommation de combustibles pour la production de fonte et des facteurs d'émission spécifiques aux combustibles sont utilisés. Les consommations nationales de combustibles sont issues de statistiques nationales sectorielles [26] jusqu'en 2010. A partir de 2011, par manque de données, une consommation totale de combustibles est estimée à partir du ratio d'énergie consommée par tonne de fonte produite pour l'année 2010 et de la production nationale de fonte [957]. Les

consommations par type de combustible sont estimées à partir de la consommation totale et de la répartition moyenne (moyenne réalisée sur les années 2006 à 2010) des consommations par type de combustible, appliquée à la consommation totale annuelle.

La méthode d'estimation des émissions est de rang GIEC 2.

***Emissions de $CO_2$***

D'après CORINAIR [583], les émissions de $CO_2$ induites par la production de fonte grise sont uniquement dues à la consommation de combustibles. Les émissions de $CO_2$ sont calculées en multipliant les consommations de combustibles [26] par les facteurs d'émission nationaux (cf. section générale énergie). Le facteur d'émission du $CO_2$ est ensuite rapporté à la production annuelle [622][957]. Il varie donc en fonction des années.

***Emissions de $CH_4$, et $N_2O$***

Comme pour le $CO_2$, les émissions de $CH_4$ et de $N_2O$ sont obtenues en appliquant les facteurs d'émission par défaut par combustible [638] aux consommations [26]. Le facteur d'émission global est ensuite déterminé en rapportant les émissions totales à la production annuelle [622].

**Production d'acier**

- *Agglomération de minerai*

Les émissions liées à l'agglomération de minerai (partie énergétique) sont calculées sur la base des déclarations annuelles des émissions des sites à partir de 2004 [19], d'une part, et de la production nationale d'agglomérés [27] et de facteurs d'émission moyens appliqués sur les années antérieures, d'autre part. Les consommations de combustibles [27], les contenus en carbone [27] et des facteurs d'émission nationaux (cf. section générale énergie) sont également utilisés pour estimer les émissions de certaines substances.

- *Réchauffeurs de hauts-fourneaux*

En ce qui concerne les réchauffeurs de haut-fourneau, les émissions sont calculées à partir du bilan énergétique fourni par la fédération professionnelle [27] et de facteurs d'émission moyens calculés à partir de données disponibles dans les déclarations annuelles des émissions [19]. Les consommations de combustibles [27], les contenus en carbone [27] et des facteurs d'émission nationaux (cf. section générale énergie) sont également utilisés pour estimer les émissions de certaines substances.

- *Autres ateliers*

Pour les autres ateliers, les émissions sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission nationaux relatifs à ces combustibles (cf. section générale énergie).

Il convient de noter que la distinction entre les émissions liées à la combustion (1A2a) et les émissions liées au procédé (2C1) est réalisée en fonction de l'atelier sidérurgique.

La fédération professionnelle fournit un bilan des consommations et productions « Energies et matières » par atelier [27] jusqu'en 2013.

Par exemple, l'atelier de production de fonte (au sein du haut-fourneau) utilise du coke et des charbons comme agents réducteurs (matières premières → émissions liées au procédé) et des combustibles liquides et gazeux pour réchauffer l'air injecté à la base du haut-fourneau qui provoque la combustion des matières premières (émissions liées à la combustion). Des gaz de haut-fourneau issus de la transformation des matières premières sont produits et sont en partie réutilisés comme combustibles (apport énergétique) au sein du site intégré. Les émissions des gaz de haut-fourneau non valorisés et issues de la transformation des matières premières sont comptabilisées en procédé. La distinction est réalisée de différentes façons selon la nature des intrants, selon les substances considérées (cf. sections dédiées aux émissions par polluant) sur la base des lignes directrices pour la réalisation des inventaires des émissions. A partir de 2014, les données fournies par la fédération professionnelle [27] ne sont plus disponibles. Afin d'estimer les consommations de combustible pour les ateliers : agglomération, hauts-fourneaux, autres ateliers, une estimation de la consommation totale de combustibles par atelier est réalisée à partir de la production (par type d'atelier) et d'un ratio moyen entre la consommation totale et la production, basé sur les années connues. Une répartition moyenne des consommations par type de combustible, basée sur les années connues, est appliquée à la consommation totale afin d'obtenir les consommations par combustible.

La répartition des flux de combustibles et matériaux entrants des installations sidérurgiques, et des émissions de gaz à effet de serre associées est présentée ci-dessous :

**Figure 35 : Répartition des flux de combustibles et matières des installations sidérurgiques et des émissions de $CO_2$ associées**

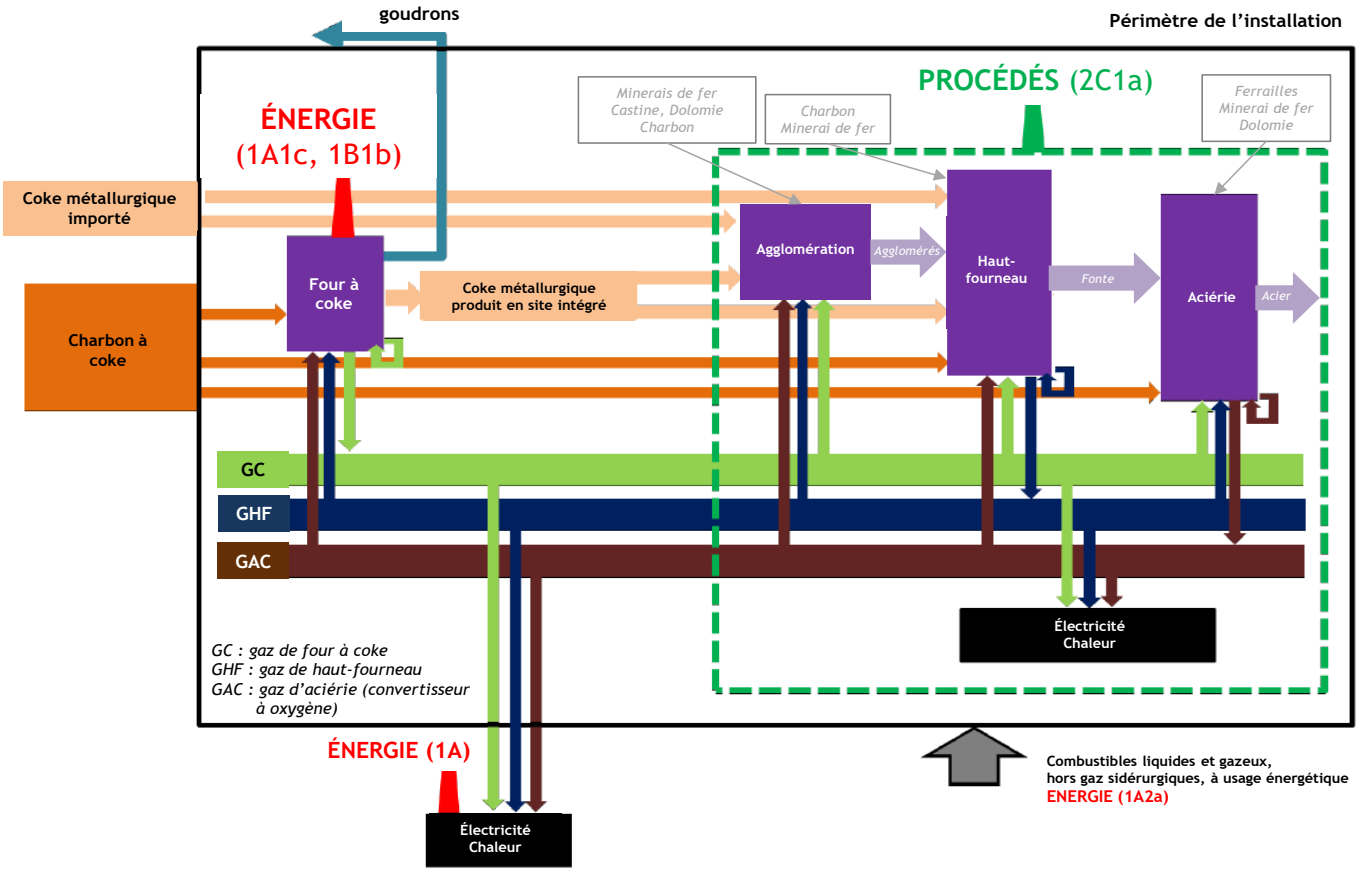



*Schéma tiré des Lignes directrices du GIEC – Refinement 2019 (V3_CH04_Figure 4.8d), et adapté à la situation française.*

***Emissions de $CO_2$***

Concernant les émissions de $CO_2$, la distinction entre les émissions liées à la combustion (section présente – 1A2a) et les émissions liées au procédé (2C1) est réalisée grâce à un bilan matière au sein de l'atelier concerné. La fédération professionnelle du secteur fournit la quantité de carbone entrant dans le haut-fourneau [27], en ne tenant compte que des matières premières utilisées comme réducteurs (charbon et coke), ainsi que la quantité de carbone sortant, qui est contenu dans le produit (fonte) et dans les gaz d'échappement (gaz de haut-fourneau). Ces gaz sont soit captés et valorisés (réutilisés comme combustibles pour réchauffer l'air du haut-fourneau), soit captés mais non valorisés (torches), soit non captés.

Les émissions de $CO_2$ des consommations de combustibles solides et des gaz sidérurgiques au sein des ateliers sidérurgiques, hors GIC, sont désormais allouées au CRT 2C1, conformément aux lignes directrices du GIEC 2006.

Par ailleurs, la majorité des installations du secteur est soumise au système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre de l'Union européenne (SEQE-UE). Les données sont utilisées à des fins de contrôles de cohérence.

➢ *Agglomération de minerai*

Les émissions de $CO_2$ liées à la combustion sont calculées par type de combustible sur la base des consommations annuelles des différents combustibles et matières employés [27] et des teneurs en carbone moyennes (sur 2001-2008) spécifiques à ces combustibles [27]. Les émissions sont ensuite ramenées à la production annuelle d'agglomérés [27] pour obtenir le facteur d'émission par tonne d'agglomérés produits. Les émissions relatives à l'utilisation de castine (décarbonatation) et à l'apport de minerai de fer sont traitées en section « 2C1 – iron steel ».

➢ *Réchauffeurs de hauts-fourneaux*

Les émissions de $CO_2$ sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des teneurs en carbone moyennes (sur 2001-2008) spécifiques à ces combustibles [27]. Les émissions sont ensuite ramenées à la production annuelle de fonte brute [27] pour obtenir le facteur d'émission par tonne de fonte produite.

- *Autres ateliers*

Les émissions de $CO_2$ sont calculées par type de combustible sur la base des consommations annuelles des différents combustibles et matières employés [27] et des teneurs en carbone moyennes (sur 2001-2008) spécifiques à ces combustibles [27].

***Emissions de $CH_4$***

Comme pour le $CO_2$, les émissions de $CH_4$ liées aux consommations de combustibles solides et des gaz sidérurgiques au sein des différents ateliers sidérurgiques, hors GIC, sont également désormais allouées au CRT 2C1 conformément aux lignes directrices du GIEC 2006.

- *Agglomération de minerai*

Les émissions de $CH_4$ sont connues annuellement, site par site depuis 2003 [19]. A l'aide de la production nationale d'agglomérés, un facteur d'émission moyen est recalculé. Pour rapporter les émissions liées à la combustion par type de combustible, les facteurs d'émission standards nationaux par combustible sont utilisés, pondérés par le facteur d'émission issu des déclarations annuelles (afin d'assurer la cohérence avec les émissions déclarées). Avant 2003, un facteur d'émission moyen basé sur les données de 2003 et 2004 est appliqué.

- *Réchauffeurs de hauts-fourneaux*

Les émissions de $CH_4$ sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission par défaut du GIEC 2006 [638]. Les émissions sont ensuite ramenées à la production annuelle de fonte brute [27] pour obtenir le facteur d'émission par tonne de fonte produite.

- *Autres ateliers*

Les émissions de $CH_4$ pour ces ateliers sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission par défaut du GIEC 2006 [638].

***Emissions de $N_2O$***

- *Agglomération de minerai*

Les émissions de $N_2O$ sont connues annuellement, site par site depuis 2003 [19]. A l'aide de la production nationale d'agglomérés, le facteur d'émission moyen est recalculé. Pour rapporter les émissions liées à la combustion par type de combustible, les facteurs d'émission standards nationaux par combustible sont utilisés, pondérés par le facteur d'émission issu des déclarations annuelles (afin d'assurer la cohérence avec les émissions déclarées). Avant 2003, un facteur d'émission moyen basé sur les données de 2003 et 2004 est appliqué.

- *Réchauffeurs de hauts-fourneaux*

Les émissions de $N_2O$ sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission par défaut du GIEC 2006 [638]. Les émissions sont ensuite ramenées à la production annuelle de fonte brute [27] pour obtenir le facteur d'émission par tonne de fonte produite.

- *Autres ateliers*

Les émissions de $N_2O$ pour ces ateliers sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission par défaut du GIEC 2006 [638].

#### 3.2.6.2.2 Métallurgie des métaux non ferreux (1A2b)

**Production de cuivre**

Les niveaux d'activité correspondent aux productions de cuivre de 1ère et de 2nde fusions en France ainsi qu'aux consommations de combustibles des sites qui produisent ce cuivre : ces données proviennent des communications avec les industriels [50] ainsi que des statistiques françaises [272] et mondiales de production [223].

Les émissions de certains polluants sont connues directement à partir des données communiquées par les industriels. Pour les autres polluants des facteurs d'émission rapportés à la production sont déterminés.

Les gaz à effet de serre émis lors de la production de cuivre sont le $CO_2$, le $N_2O$ et le $CH_4$.

***Emissions de $CO_2$***

Les facteurs d'émission sont calculés sur la base des combustibles utilisés annuellement sur le site [26] et des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).

***Emissions de $CH_4$ et $N_2O$***

Les facteurs d'émission sont calculés sur la base des combustibles utilisés annuellement sur le site [26] et de facteurs d'émission par combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

**Production de magnésium**

La production était connue via l'annuaire statistique mondial des minerais et métaux [223].

***Emissions de $CO_2$***

Pour la première fusion, les facteurs d'émission du $CO_2$ sont calculés sur la base des combustibles utilisés annuellement sur le site et des facteurs d'émission nationaux (cf. section générale énergie). Ils varient donc en fonction des années.

***Emissions de $CH_4$ et $N_2O$***

Pour la première fusion, les facteurs d'émission du $CH_4$ et du $N_2O$ sont calculés sur la base des combustibles utilisés annuellement sur le site et des facteurs d'émission des lignes directrices du GIEC 2006 [623]. Ils varient donc en fonction des années.

***Emissions de Gaz fluorés***

Les gaz fluorés émis par la production de magnésium sont traités dans la section en section 2C relative à la métallurgie.

**Productions de plomb et de zinc de première fusion**

Une partie des émissions provient de la combustion liée aux procédés et une autre partie provient plus spécifiquement du procédé (dégagement de métaux lourds par exemple).

Les données d'activité sont fournies par l'inspection des installations classées [19] :

- dans des publications annuelles entre 1990 et 2002
- par communication directe entre 2003 et 2007
- dans les déclarations annuelles depuis 2008

La détermination des rejets nécessite également de connaître des ratios des consommations énergétiques par rapport aux productions au moyen des enquêtes disponibles [26] et des données précédentes.

Les émissions sont calculées à partir de facteurs d'émission. Il n'y a plus de production de plomb de première fusion en France depuis 2003.

A noter que depuis l'édition 2024, à partir des déclarations de consommations de gaz de réseau (mélange de gaz naturel (NAPFUE 301) et biométhane (NAPFUE 31B)), nous appliquons sur toute la série historique (notamment à partir de 2012) le taux de biométhane afin de différencier les émissions de ces deux combustibles (cf. section générale Energie).

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions sont calculées sur la base des consommations de combustibles du secteur d'activité et des facteurs d'émission correspondant aux différents combustibles (cf. section générale énergie).

Depuis 2003, les facteurs d'émission rapportés à la production de zinc (confidentiels) ont fortement diminué à la suite de la cessation d'activité d'un site très émetteur, du fait des combustibles utilisés, qui produisait à la fois du plomb et du zinc de première fusion.

***Emissions de $CH_4$ et $N_2O$***

Les émissions sont déterminées sur la base des consommations du secteur et des facteurs d'émission par combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623]. Ils varient donc en fonction des années.

Depuis 2003, les facteurs d'émission rapportés à la production de zinc (confidentiels) ont fortement diminué à la suite de la cessation d'activité d'un site mettant en œuvre des procédés très émetteurs qui produisait à la fois du plomb et du zinc de première fusion.

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

**Productions de plomb et de zinc de seconde fusion**

Jusqu'en 2010, les consommations nationales de combustibles pour la production de plomb et zinc de seconde fusion étaient déterminées à partir des consommations d'énergie du secteur du plomb et du zinc [26], desquelles étaient déduites les consommations pour la production de plomb et zinc de première fusion (section 1A2b « production de plomb et zinc de première fusion »).

Depuis 2010, les consommations d'énergie du secteur du plomb et du zinc ne sont plus disponibles dans les statistiques. Les consommations des années suivantes sont recalculées à partir de la production nationale annuelle de plomb et zinc de seconde fusion, et du ratio énergétique de consommation de combustibles par rapport à la production pour l'année 2010, dernière année connue.

La production de plomb de seconde fusion est connue jusqu'en 2007 à partir des statistiques mondiales de minerais et minéraux [223]. Entre 2007 et 2013, la production de plomb est issue des déclarations annuelles [19]. Depuis 2014, pour cause de confidentialité, seule une valeur nationale est fournie par la fédération du secteur [712].

La production de zinc de seconde fusion est connue jusqu'en 2002, date de cessation de production hors déchets spéciaux, grâce aux bulletins mensuels de statistiques industrielles [53]. Un site de production à partir de rejets spéciaux a ouvert en 1993 et est toujours en activité : les données de productions sont communiquées par l'exploitant [714].

A noter que depuis l'édition 2024, à partir des déclarations de consommations de gaz de réseau (mélange de gaz naturel (NAPFUE 301) et biométhane (NAPFUE 31B)), nous appliquons sur toute la série historique (notamment à partir de 2012) le taux de biométhane afin de différencier les émissions de ces deux combustibles (cf. section générale Energie).

***Emissions de $CO_2$***

- *Plomb de seconde fusion*

Les émissions sont calculées sur la base des consommations de combustibles [26] et des facteurs d'émission par combustibles (cf. section générale énergie).

- *Zinc de seconde fusion*

Les émissions sont calculées sur la base des consommations de combustibles [26] et des facteurs d'émission par combustibles (cf. section générale énergie).

***Emissions de $CH_4$ et $N_2O$***

- *Plomb de seconde fusion*

Les émissions sont calculées sur la base des consommations de combustibles [26] et des facteurs d'émission par combustibles provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

Le facteur d'émission ramené à la production varie selon le mix énergétique au cours de la période. Celui-ci est considéré identique à partir de 2010, dû au recalcul des consommations de combustibles.

- *Zinc de seconde fusion*

Les émissions sont calculées sur la base des consommations de combustibles [26] et des facteurs d'émission par combustibles provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

Le facteur d'émission ramené à la production varie selon le mix énergétique au cours de la période. Il est confidentiel compte tenu du nombre réduit de sites.

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances.

**Production d'aluminium secondaire**

De 1999 à 2010, les données de consommation de combustibles proviennent des enquêtes EACEI [26]. Pour les années antérieures, de 1990 à 1998, les étapes et hypothèses suivantes sont suivies :

1. Estimation d'un ratio énergie/production (GJ combustible / t Al produit) sur la base des données de consommation d'énergie et de production des sites pour lesquels ces deux types de données sont disponibles (de 2003 à 2010) ;

2. Application du ratio calculé pour 2003 aux productions d'aluminium secondaire (t) pour les années 1990 à 1998, afin d'obtenir la consommation énergétique totale (en GJ) ;
3. Application de la répartition de la consommation totale entre les consommations des différents combustibles consommés en 1999 aux consommations totales de 1990 à 1998, afin d'obtenir les consommations par type de combustible.

A partir de 2011, les données de consommations ne sont plus disponibles. Par conséquent, la consommation globale annuelle est estimée en suivant les étapes 1 à 3 ci-dessus, à la différence près que le ratio utilisé à partir de 2011 est le ratio moyen des années 2003 à 2010. De plus, la répartition des consommations de combustibles de 2010 est appliquée pour les années à partir de 2011.

Les rejets atmosphériques proviennent essentiellement de la combustion de combustibles dans les fours de fusion. Les émissions sont déterminées à partir des données disponibles dans les déclarations annuelles des rejets des exploitants depuis 2003 [19]. Des facteurs d'émission issus des lignes directrices du GIEC 2006 [623] et de la littérature sont utilisés pour les années antérieures ou pour pallier l'absence d'information pour certains sites [42, 68]. Les données sur la série temporelle sont cohérentes.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont calculées à partir des consommations de combustibles utilisées pour la production d'aluminium de seconde fusion [26] et des facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie).

***Emissions de $CH_4$ et $N_2O$***

Les émissions de $CH_4$ sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

#### 3.2.6.2.3 Autres fours (1A2c)

**a. <u>Combustion de certains combustibles dans les fours de vapocraquage :</u>**

Les données disponibles détaillées (types, quantités et caractéristiques des combustibles, types d'équipements, mesures des émissions, bilans, etc.) [19] permettent une estimation assez fine des émissions de la combustion pour la plupart des substances, notamment celles concourant à l'acidification et au changement climatique.
Les combustibles gazeux sont du gaz de réseau (mélange de gaz naturel – NAPFUE 301, et de biométhane – NAPFUE 31B), des déchets industriels gazeux (NAPFUE 307, 308 et 314) et parfois des combustibles liquides (NAPFUE 225). Les émissions liées au gaz de réseau et aux combustibles liquides sont prises en compte dans cette section mais les déchets industriels gazeux sont considérés dans la section 2B8_ethylène propylène car il s'agit de sous-produits issus de la matière première introduite dans le vapocraqueur (naphta). Les émissions de ces sous-produits sont donc considérées dans la partie « procédés » comme le recommande les lignes directrices 2006 du GIEC [771].

A noter que depuis l'édition 2024, à partir des déclarations de consommations de gaz de réseau (mélange de gaz naturel (NAPFUE 301) et biométhane (NAPFUE 31B)), nous appliquons sur toute la série historique (notamment à partir de 2012) le taux de biométhane afin de différencier les émissions de ces deux combustibles (cf. section générale Energie).

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19], notamment afin d'assurer la cohérence des données retenues pour l'inventaire avec celles déclarées au titre du SEQE, basées sur des mesures spécifiques. Lorsque l'exploitant ne donne pas de facteurs spécifiques, une moyenne du facteur d'émission par combustible et par site ou les valeurs nationales (par combustible) (cf. section générale énergie) sont appliquées.

***Emissions de $CH_4$ et $N_2O$***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de $CH_4$ et $N_2O$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**b. <u>Combustion de gaz de réseau dans les fours d'ammoniac :</u>**

Les consommations énergétiques de gaz de réseau des vaporeformeurs sont recensées à l'aide des déclarations à partir de 2004 [19]. Avant cette période, les consommations de la production d'ammoniac sont estimées à partir des données déclarées pour l'année 2004 et des productions fournies par site.

A noter que depuis l'édition 2024, à partir des déclarations de consommations de gaz de réseau (mélange de gaz naturel (NAPFUE 301) et biométhane (NAPFUE 31B)), nous appliquons sur toute la série historique (notamment à partir de 2012) le taux de biométhane afin de différencier les émissions de ces deux combustibles (cf. section générale Energie).

***Emissions de $CO_2$***

Conformément aux lignes directrices du GIEC 2006 et 2019, les émissions de $CO_2$ liées à la consommation de gaz de réseau, énergétique et non énergétique, dans les vaporeformeurs, sont considérées dans la partie procédé de la production d'ammoniac, c'est-à-dire en CRT 2B1_ammoniac.

***Emissions de $CH_4$ et $N_2O$***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de $CH_4$ et $N_2O$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs au gaz de réseau provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion du gaz de réseau.

**c. <u>Combustion de gaz de réseau dans les fours de fabrication d'acide cyanhydrique</u>**

Les consommations énergétiques de gaz de réseau des fours de fabrication d'acide cyanhydrique sont recensées à l'aide des déclarations à partir de 2004 [19]. Avant cette période, les consommations de la production d'acide cyanhydrique sont estimées à partir des données déclarées pour l'année 2004 et des productions fournies par site.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19], notamment afin d'assurer la cohérence des données retenues pour l'inventaire avec celles déclarées au titre du SEQE, basées sur des mesures spécifiques. Lorsque l'exploitant ne donne pas de facteurs spécifiques, une moyenne du facteur d'émission par combustible et par site ou les valeurs nationales (par combustible) (cf. section générale énergie) sont appliquées.

***Emissions de $CH_4$ et $N_2O$***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de $CH_4$ et $N_2O$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

#### 3.2.6.2.4 Industrie agro-alimentaire (1A2e)

Pour les gaz à effet de serre ($CO_2$, $N_2O$ et $CH_4$), les émissions sont calculées sur la base de la consommation d'énergie annuelle par combustible.

**Données relatives à la production**

De 1990 à aujourd'hui, les données de production de fourrage vert sont des données communiquées par la fédération (La Coopération Agricole de France déshydratation) [776]. Dans les dernières années, une augmentation de la consommation de biomasse en tant que combustible peut être observée.

**Données relatives aux consommations de combustible**

Les données de consommations de combustible sont connues pour les trois catégories de produits déshydratés : pulpes de betterave, luzerne et autres produits.

De 1990 à 2012, les données de consommation d'énergie par combustible et par type de produits sont communiquées par La Coopération Agricole France déshydratation via une enquête annuelle qu'elle réalise [776].

A partir de 2013, même si ces données sont disponibles auprès de La Coopération Agricole France déshydratation, afin d'assurer la totale cohérence avec le système d'échange des quotas d'émissions de gaz à effet de serre, les consommations de combustibles proviennent des déclarations annuelles des exploitants (la plupart des sites industriels sont soumis au système de quotas, mais tous les sites déclarent dans le cadre du système déclaratif E-PRTR) [19]. En 2020, à la suite des différences observées entre les données E-PRTR et SEQE, les données provenant du SEQE ont été retenues car elles sont vérifiées par des organismes tiers.

A noter que depuis l'édition 2024, à partir des déclarations de consommations de gaz de réseau (mélange de gaz naturel (NAPFUE 301) et biométhane (NAPFUE 31B)), nous appliquons sur toute la série historique (notamment à partir de 2012) le taux de biométhane afin de différencier les émissions de ces deux combustibles (cf. section générale Energie).

***Emissions de $CO_2$***

A partir de 2013, les données spécifiques d'émission de $CO_2$ disponibles par l'intermédiaire des déclarations des émissions sont utilisées que ce soit dans le cadre du système d'échanges des quotas d'émissions (SEQE) ou non (le même dispositif de déclaration servant au SEQE et à l'E-PRTR) [19].

Jusqu'en 2012 inclus, les émissions de $CO_2$ sont déterminées en multipliant la consommation par combustible par le facteur d'émission moyen relatif à chaque combustible déterminé sur la base des données disponibles depuis 2013 (cf. section générale énergie et la base de données OMINEA).

La cohérence temporelle entre ces deux périodes est vérifiée et assurée par le Citepa.

***Emissions de $CH_4$***

Pour toutes les années, les émissions de $CH_4$ sont estimées en multipliant la consommation par combustible par les facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie et la base de données OMINEA).

***Emissions de $N_2O$***

Pour toutes les années, les émissions de $N_2O$ sont estimées en multipliant la consommation par combustible par les facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie et la base de données OMINEA).

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

#### 3.2.6.2.5 Minéraux non métalliques (1A2f)

**Production de ciment**

Pour les gaz à effet de serre ($CO_2$, $N_2O$ et $CH_4$), les émissions sont calculées sur la base de la consommation d'énergie annuelle par combustible.

De 1990 à 2004, la consommation par combustible pour l'ensemble du secteur provient de la profession (ATILH) [28].

A partir de 2005, afin d'assurer la cohérence avec le système d'échange de quotas d'émission, les consommations par combustible pour l'ensemble de la profession proviennent des déclarations annuelles des industriels [19].

A noter que depuis l'édition 2024, à partir des déclarations de consommations de gaz de réseau (mélange de gaz naturel (NAPFUE 301) et biométhane (NAPFUE 31B)), nous appliquons sur toute la série historique (notamment à partir de 2012) le taux de biométhane afin de différencier les émissions de ces deux combustibles (cf. section générale Energie).

***Emissions de $CO_2$***

A partir de 2005, les données spécifiques d'émission de $CO_2$ disponibles par l'intermédiaire des déclarations des émissions sont utilisées que ce soit dans le cadre du système d'échanges des quotas d'émissions (SEQE) ou non (le même dispositif de déclaration servant au SEQE et à l'E-PRTR) [19].

Jusqu'en 2004 inclus, les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible qui correspondent à la moyenne des facteurs d'émission par combustible déterminés, sur la période 2005-2012 (1ère période du SEQE), à partir des déclarations des émissions par combustible [19].

***Emissions de $CH_4$***

Pour toutes les années, les émissions de $CH_4$ sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

***Emissions de $N_2O$***

Pour toutes les années, les émissions de $N_2O$ sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Production d'émail**

Pour information, compte tenu du nombre restreint d'installations concernées, les facteurs d'émission ne sont pas communiqués dans la base de données OMINEA.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions nationales correspondent à la somme des émissions des installations de production d'émail [19]. Toutefois, lorsqu'une valeur d'émission spécifique manque, la valeur de l'année précédente ou un facteur d'émission moyen est utilisé.

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions nationales sont estimées à partir des consommations de combustibles déclarées par les sites [19] et des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions nationales sont estimées à partir des consommations de combustibles déclarées par les sites [19] et des facteurs d'émission par combustible (cf. section générale énergie).

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Production de céramique**

Les émissions déterminées dans cette section sont celles provenant de l'utilisation de combustibles pour alimenter les fours.

Avant 2011, la consommation nationale de combustibles provenait de la publication de l'EACEI [26]. Depuis 2011, cette consommation nationale n'est plus disponible. Un ratio énergétique de la consommation de combustibles par tonne de produit est déterminé chaque année à partir des sites déclarants. Ce ratio est ensuite appliqué à la production nationale [251]. La répartition des consommations par combustible est ensuite effectuée, proportionnellement à celle de l'année précédente. Les émissions sont calculées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par combustible associés.

***Emissions de $CO_2$***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de $CO_2$ sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie). Ces émissions peuvent être ramenées, au niveau national, soit à la consommation d'énergie, soit à la production nationale.

***Emissions de $CH_4$***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de $CH_4$ sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par défaut tirés du GIEC 2006 [623], relatifs à chaque combustible.

***Emissions de $N_2O$***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de $N_2O$ sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par défaut tirés du GIEC 2006 [623], relatifs à chaque combustible.

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Production de verre**

Pour quantifier les gaz à effet de serre ($CO_2$, $N_2O$ et $CH_4$), les consommations énergétiques par combustible sont utilisées.

Pour les différentes catégories, les sources de données utilisées pour déterminer les consommations par combustible sont les suivantes :

- à partir de 2005, les consommations proviennent des données individuelles des sites à partir des déclarations (approche site par site) [19].
- de 1990 à 2004, les consommations totales de l'ensemble des activités verrières hors laine de roche (code NCE E22 fourni par le SESSI [26]) sont connues. Afin de répartir les consommations par catégorie, les ratios déterminés en 2005 par catégorie sur la base des données individuelles sont appliqués à la consommation totale annuelle de 1990 à 2004.

A noter que depuis l'édition 2024, à partir des déclarations de consommations de gaz de réseau (mélange de gaz naturel (NAPFUE 301) et biométhane (NAPFUE 31B)), nous appliquons sur toute la série historique (notamment à partir de 2012) le taux de biométhane afin de différencier les émissions de ces deux combustibles (cf. section générale Energie).

***Emissions de $CO_2$***

La méthodologie mise en œuvre est appliquée à l'ensemble de la production de verre. Elle est présentée sur le schéma ci-après.

A partir de 2005, les émissions par combustible et par installation sont directement connues via les déclarations annuelles [19]. A partir des consommations par combustible, un facteur d'émission par combustible est déterminé par année.

Pour les années antérieures à 2005, un facteur d'émission moyen est déterminé sur la période 2005-2012 par combustible et par type de verre. Il est ensuite appliqué aux consommations par combustible et par type de verre pour calculer les émissions de $CO_2$.

Les émissions ainsi obtenues par année et par combustible sont sommées pour estimer les émissions de $CO_2$ totales annuelles.

***Emissions de $CH_4$***

Pour toutes les années et quel que soit le type de verre produit, les émissions de $CH_4$ sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, appliqués uniformément à toutes les installations et présentés en section générale énergie.

***Emissions de $N_2O$***

Pour toutes les années et quel que soit le type de verre produit, les émissions de $N_2O$ sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, appliqués uniformément à toutes les installations et présentés en section générale énergie.

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Production de chaux**

Pour quantifier les gaz à effet de serre ($CO_2$, $N_2O$ et $CH_4$), les consommations énergétiques par combustible sont utilisées.

Détermination des consommations énergétiques

A partir de 2005, les consommations énergétiques par combustible sont disponibles dans les déclarations annuelles [19]. Toutefois, quelques petits sites de production de chaux ne sont pas soumis au système déclaratif de leurs émissions. Une estimation de leurs consommations énergétiques est réalisée à partir, d'une part, du ratio énergétique des sites faisant l'objet de déclarations annuelles exprimée en GJ/t chaux produite, et d'autre part, de la répartition par année de la consommation énergétique des sites déclaratifs et enfin de la production de chaux associée à ces petits sites.

Entre 1993 et 2004, les consommations énergétiques proviennent des statistiques nationales de consommations énergétiques [26] qui prennent en compte tous les sites de production de chaux.

Pour les années 1990 à 1992, les consommations énergétiques par combustible sont estimées à partir des consommations disponibles en 1993 et en appliquant le ratio d'évolution de la production entre les années.

A noter que depuis l'édition 2024, à partir des déclarations de consommations de gaz de réseau (mélange de gaz naturel (NAPFUE 301) et biométhane (NAPFUE 31B)), nous appliquons sur toute la série historique (notamment à partir de 2012) le taux de biométhane afin de différencier les émissions de ces deux combustibles (cf. section générale Energie).

***Emissions de $CO_2$***

La méthodologie mise en œuvre pour calculer les émissions de $CO_2$ du secteur de la production de chaux aérienne, magnésienne et de chaux hydraulique s'applique pour l'ensemble de la production de chaux mais dépend de l'année considérée.

**Méthode mise en œuvre depuis 2005**

Pour les plus gros sites de production de chaux, les émissions de $CO_2$ (par combustible) proviennent des déclarations individuelles [19]. Les autres données disponibles dans ces déclarations sont les données de consommation par combustible par site. Ainsi, un facteur d'émission moyen par année et par combustible est déterminé sur la base des données déclarées.

Pour les plus petits sites pour lesquels aucune déclaration individuelle n'est disponible, les émissions de $CO_2$ sont calculées sur la base des consommations associées à ces petits sites (méthode décrite précédemment) et des facteurs d'émission moyens annuels déterminés par combustible sur la base des données déclarées par les sites plus importants.

**Méthode mise en œuvre avant 2005**

Pour l'ensemble des sites de production de chaux (aucune donnée individuelle disponible), les émissions de $CO_2$ sont calculées sur la base des consommations par combustible et des facteurs d'émission moyens de la période 2005-2012 par combustible.

***Emissions de $CH_4$***

Pour toutes les années, les émissions de $CH_4$ sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les différentes sources utilisées pour déterminer les consommations de combustibles sont présentées dans la section précédente. Les facteurs d'émission nationaux par combustible sont appliqués uniformément à toutes les installations (cf. section générale énergie).

***Emissions de $N_2O$***

Pour toutes les années, les émissions de $N_2O$ sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les différentes sources utilisées pour déterminer les consommations de combustibles sont présentées dans la section précédente. Les facteurs d'émission nationaux par combustible sont appliqués uniformément à toutes les installations (cf. section générale énergie).

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Production de plâtre**

Les émissions déterminées dans cette section proviennent de l'utilisation de combustibles alimentant les fours.

Les données disponibles détaillées (types, quantités et caractéristiques des combustibles, mesures des émissions, etc.) permettent une estimation fine des émissions.

A noter que depuis l'édition 2024, à partir des déclarations de consommations de gaz de réseau (mélange de gaz naturel (NAPFUE 301) et biométhane (NAPFUE 31B)), nous appliquons sur toute la série historique (notamment à partir de 2012) le taux de biométhane afin de différencier les émissions de ces deux combustibles (cf. section générale Energie).

Les émissions de gaz à effet de serre sont calculées à partir de la consommation énergétique.

***Consommation énergétique***

La méthode d'estimation des consommations du secteur du plâtre est présentée ci-après :

**Méthode à partir de 2003**

A partir de 2003, les consommations par combustible proviennent, d'une part, des déclarations individuelles des industriels [19] et, d'autre part, pour les sites non soumis au système déclaratif (consommation surfacique), un calcul est réalisé par année :

Consommation surfacique par combustible = (consommation connue par combustible / production connue) x (production nationale – production connue)

**Entre 1990 et 2002**

Le secteur du plâtre est inclus dans le code NCE E20. Ainsi, en 2003, il est possible de déterminer la part que représente le secteur du plâtre dans le total du code NCE E20 par combustible [452].

Ce ratio par combustible déterminé en 2003 est supposé constant sur la période 1990-2002.

Les consommations par combustible sur la période 1990-2002 correspondent donc au produit entre les consommations par combustible du code NCE E20 et le ratio déterminé pour l'année 2003.

***Emissions de $CO_2$***

La méthodologie mise en œuvre est la suivante. Elle permet d'assurer une cohérence temporelle.

A partir de 2005, les émissions de $CO_2$ par combustible proviennent, d'une part, des déclarations annuelles des industriels [19] et, d'autre part, elles sont calculées par produit entre la consommation surfacique telle que décrite précédemment et le facteur d'émission de $CO_2$ par combustible déterminé par année sur la base des déclarations annuelles individuelles.

Pour les années antérieures à 2005, les émissions de $CO_2$ sont estimées sur la base des données de consommation par combustible (méthode décrite précédemment) et des facteurs d'émission moyens de la période 2005-2012 par combustible (cas particulier : pour le gaz naturel, le facteur d'émission national est retenu car il est évolutif en fonction des années).

***Emissions de $CH_4$***

Pour toutes les années, les émissions de $CH_4$ sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible appliqué uniformément à toutes les installations (cf. section générale énergie).

***Emissions de $N_2O$***

La méthode appliquée est similaire à celle du $CH_4$.

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Production de tuiles et briques**

Les émissions déterminées dans cette section sont celles provenant de l'utilisation de combustibles pour alimenter les fours. Les émissions sont calculées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par combustible associés.

**Consommation d'énergie**

Avant 2005, la consommation nationale de combustibles provient de l'EACEI [26]. Depuis 2005, cette consommation nationale n'est plus disponible. Elle est recalculée à partir de deux sources complémentaires : des consommations par site, disponibles dans les déclarations annuelles des émissions [19], et pour la consommation surfacique (solde de la production), du ratio énergétique de la consommation de combustibles par tonne de produit pour l'année 2004, appliqué au solde de la production [241].

A noter que, depuis l'édition 2024, à partir des déclarations de consommation de gaz de réseau (mélange de gaz naturel (NAFUE 301) et de biométhane (NAPFUE 31B)), nous appliquons sur toute la série historique (notamment à partir de 2012) le taux de biométhane afin de différencier les émissions de ces deux combustibles (cf. section générale Energie).

**Production de tuiles et briques**

Les données de production proviennent de la Fédération Française des Tuiles et Briques [241] ainsi que des déclarations annuelles [19].

***Emissions de $CO_2$***

A partir de 2005, les émissions de $CO_2$ par combustible proviennent, d'une part, des déclarations annuelles [19] et, d'autre part, elles sont calculées sur la base des consommations surfaciques (solde des consommations nationales et connues par site) et des facteurs d'émission nationaux de $CO_2$ par combustible (mix Tier 2/3).

Pour les années antérieures à 2005, les émissions de $CO_2$ sont estimées sur la base des données de consommation par combustible (méthode décrite précédemment) et des facteurs d'émission nationaux (Tier 2).

La cohérence temporelle est vérifiée en comparant les facteurs d'émission de $CO_2$ recalculés depuis 2005 à partir des données des exploitants avec les facteurs d'émission $CO_2$ nationaux.

Pour information, pour les sites soumis au SEQE, un contrôle de cohérence est effectué entre les émissions déclarées dans ce cadre, et les données disponibles dans les déclarations annuelles des émissions [19].

***Emissions de $CH_4$***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de $CH_4$ sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par défaut relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

***Emissions de $N_2O$***

Sur l'ensemble de la période, les émissions de $N_2O$ sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par défaut relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

#### 3.2.6.2.6 Autres secteurs (1A2g)

**Production d'enrobés routiers**

Les émissions sont calculées, selon les polluants :

- soit à partir de la consommation nationale de bitume des centrales d'enrobage, obtenue auprès de l'USIRF par communication avant 2005 [184] et dans une publication annuelle à partir de 2005 [715] ;
- soit à partir de la répartition par type de combustibles, obtenue auprès de la profession pour certaines années et de la consommation spécifique d'énergie rapportée au bitume consommé [185].

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions sont déterminées au moyen de la répartition par type de combustibles consommés [185] et du ratio énergétique associé [717] ainsi que des facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie).

***Emissions de $CH_4$ et $N_2O$***

Les émissions sont déterminées au moyen de la répartition par type de combustibles consommés [185] et du ratio énergétique associé [717] ainsi que des facteurs d'émission nationaux du secteur par combustible provenant d'une étude nationale [717] pour le fioul lourd et le gaz naturel et des lignes directrices du GIEC 2006 [623] pour les autres combustibles.

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

### 3.2.6.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans le cas présent, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 3ème niveau de la catégorie CRT (i.e. 1A2).

Malgré la diversité des installations couvertes par ce secteur, les données d'activité correspondantes sont relativement homogènes (consommations de combustibles) et bien suivies par les organismes statistiques correspondants. L'incertitude estimée pour les données d'activité est de 3 %.

En ce qui concerne les facteurs d'émission, l'incertitude estimée dépend du combustible, selon si sa composition est susceptible de varier significativement ou non. Pour le $CO_2$, l'incertitude sur le facteur d'émission est fixée à 2 % pour les combustibles liquides, solides et le gaz naturel et à 6 % pour les autres combustibles. Pour le $CH_4$ et le $N_2O$, les facteurs d'émission proviennent principalement de la littérature (lignes directrices du GIEC) pour lesquels une incertitude de 100 % est considérée.

Concernant la cohérence temporelle des séries, les consommations de combustibles sont connues, pour l'ensemble de l'industrie et aussi par grand sous-secteur, pour toutes les années de la période à partir des données du bilan de l'énergie du Service statistique du Ministère en charge de l'Environnement (SDES) qui assure une rétropolation des méthodes autant que possible.

### 3.2.6.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Des dispositions spécifiques sont élaborées pour ce sous-secteur de l'énergie :

- les émissions recalculées sont vérifiées ainsi que les tendances sur la série temporelle,
- une vérification systématique de l'absence de valeur négative dans les consommations et les émissions (pouvant être due au bouclage sur le bilan de l'énergie national),
- les déclarations annuelles des exploitants sont vérifiées par les autorités locales (DREAL) puis validées par le Ministère chargé de l'Environnement,
- une validation indirecte des émissions de $CO_2$ est effectuée par des organismes agréés dans le cadre du SEQE,
- les données SEQE permettent par ailleurs d'effectuer un contrôle de cohérence et vérifier que les émissions totales d'un secteur SEQE ne dépassent pas les émissions du secteur correspondant dans l'inventaire,
- une validation spécifique est mise en place pour l'inventaire des GIC (Grandes Installations de Combustion),
- pour le secteur de la production de ciment, le ratio énergétique, exprimé en GJ/t clinker, oscille pour la France entre 3,7 et 4 GJ/t clinker. Or, dans les conclusions sur les Meilleures Techniques Disponibles pour les cimenteries (décision d'exécution de la commission du 26 mars 2013 établissant les conclusions sur les meilleures techniques disponibles (MTD) pour la production de ciment, de chaux et d'oxyde de magnésium, au titre de la directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil relative aux émissions industrielles – tableau 1), le ratio énergétique est compris entre 2,9 et 3,3 GJ/t clinker pour les nouveaux fours. La valeur française semble donc être réaliste puisque la plupart des fours en activité ne sont pas récents.

### 3.2.6.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 1A2**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 64 496 | 67 890 | 66 306 | 64 969 | 55 541 | 52 371 | 51 303 | 50 695 | 48 110 | 46 911 | 46 690 | 44 521 | 44 448 | 43 194 | 39 433 | 43 138 | 40 129 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 64 345 | 67 746 | 66 157 | 64 846 | 55 498 | 52 891 | 51 432 | 50 899 | 48 291 | 47 123 | 46 744 | 44 635 | 44 422 | 43 230 | 39 596 | 42 507 | 39 055 | 35 935 |
| Différence | kt CO2e | -151 | -144 | -150 | -123 | -43 | +520 | +129 | +204 | +181 | +212 | +54 | +114 | -26 | +36 | +163 | -630 | -1 074 | +35 935 |
| | % | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | +1% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | -0% | +0% | +0,41% | -1% | -3% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /1.A.2

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

Plusieurs modifications et corrections ont été introduites dans la nouvelle édition de l'inventaire pour le secteur 1A2 :

- *Global 1A2 :*

- Sources fixes de type chaudières :

Certaines données du bilan de l'énergie du SDES ont été révisées pour la période 2011-2021, avec notamment :

- une hausse des consommations de fioul domestique sur 2014 et 2020-2021 (entre +700 et +2200 TJ), et à la baisse pour 2022 (-800 TJ),
- une hausse significative de la consommation de fioul lourd pour 2011-2013 (+2200 à +3750 TJ) et 2015 (+1000 TJ),- une hausse de la consommation de GPL sur 2011-2017 (entre +1200 et +4900 TJ, sauf en 2012), puis sur 2021-2022 (+2700 et +1700 TJ),
- une forte hausse des consommations de biomasse solide pour 2011-2022 (entre +6500et +10500 TJ, sauf pour 2022 + 15600 TJ),
- les consommations de charbon liées à l'autoproduction d'électricité ont été révisées à la baisse sur la période 1990-2021 (de -1100 TJ à -1550 TJ), et transférées en tertiaire (NFR 1A4a),
- enfin, les données de consommations de gaz naturel liées aux autoproducteurs d'électricité ont été révisées légèrement à la hausse pour 2006-2018, légèrement à la baisse sur 2019-2020 (-500 et -900TJ), et significativement à la baisse pour 2021-2022 (-14400 et -22500 TJ).

Enfin, certaines données des combustibles spécifiques (i.e., « other fuels ») non couverts par le bilan de l'énergie du SDES, provenant directement des déclarations ETS, ont été légèrement révisées, à la suite de changements d'allocation de sites industriels en tertiaire (sites d'équarrissage).

Pour les facteurs d'émission, aucune modification particulière n'est à signaler.

- Sources mobiles :

Pour le secteur du BTP, les consommations de diesel et biodiesel ont été révisées pour la période 2011-2022 (légèrement à la baisse entre 2011 et 2013, légèrement à la hausse entre 2014 et 2019, de 0 à 7 kt de différence, hausse plus importante en 2020 et 2021 avec +58 et 42 kt respectivement, et enfin légère baisse en 2022 avec -7 kt) suite à la mise à jour du bilan de l'énergie. De plus, le taux d'incorporation d'agro-carburant a été très légèrement révisé pour toute la période 2011-2021, modifiant ainsi la part de biodiesel.

Pour les autres secteurs, les données sources provenant des enquêtes EACEI, permettant le recalcul des consommations de diesel et GPL dans les engins mobiles, ont été révisées pour certains secteurs en 2020 et pour tous les secteurs en 2022. De plus, les taux d'incorporation de biocarburants ont également été modifiés comme décrit ci-dessus.

Enfin, pour tous les secteurs, les facteurs d'émission de la combustion mobile de diesel et biodiesel ont été révisés à la hausse (impact que sur 2011-2021).

- *Sources spécifiques 1A2 :*

- Fonderie de fonte : Prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$).;
- Production d'acier : RAS ;
- Déshydratation de luzerne : Prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$).

- Email : Prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$).
- Cuivre : RAS ;
- Magnésium :RAS ;
- Plomb et de zinc de première fusion : depuis 2005 : correction du FE $CO_2$ pris en compte (l'ancien était jugé moins représentatif). Les émissions sont légèrement réestimées à la baisse. En parallèle, prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$). ;
- Plomb et zinc de seconde fusion : Prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$).;
- Aluminium secondaire : Prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$).;
- Céramiques : Prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$).
- Verre : correction des niveaux d'activité de sites de production de verre plat en 2019 et 2022, et d'au moins un site de production de verre creux sur la période [2008-2022], sans impact sur les émissions de GES. Prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$).
- Ciment : Prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$).
- Tuiles et briques : Prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$).
- Chaux : Prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$).
- Plâtre : correction de la quantité de combustibles consommée par un des sites de production de plâtre sur la période [2019-2022], entraînant une très faible hausse des émissions de $CO_2$, $CH_4$ et $N_2O$. Prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$).
- Enrobage routier : Prise en compte du taux de biométhane présent dans le gaz de réseau (mélange gaz naturel et biométhane), non nul et croissant depuis 2012 (entraîne une baisse des émissions de $CO_2$)..

**Raison et justification**

Amélioration de l'exactitude et de la cohérence temporelle.

### 3.2.6.6 Améliorations envisagées

Les travaux démarrés depuis quelques années visant à améliorer la cohérence entre les données utilisées dans l'inventaire et celles du bilan de l'énergie national se poursuivent (coopération Citepa/SDES).

D'autre part, la prise en compte de données individuelles relatives aux émissions de $CO_2$ ainsi qu'aux consommations énergétiques a besoin d'être encore affinée dans différents secteurs de la combustion pour les procédés énergétiques avec contact, en particulier sur la partie relative à la rétropolation des émissions sur toute la période.

Pour la production du cuivre, la réévaluation de la production actuelle de cuivre de première et de deuxième fusions est envisagée.

Concernant la déshydratation du fourrage vert, une amélioration de la cohérence des données de consommation de la fédération et des déclarations SEQE est envisagée afin d'avoir des facteurs d'émission plus affinés.

# 3.2.7 Transports (1A3)

## 3.2.7.1 Caractéristiques de la catégorie

En 2023, pour la France au périmètre France UE, les différentes catégories clés (hors UTCATF) du secteur du transport (CRT 1A3) en termes de niveau d'émissions et d'évolution des émissions sont les suivantes :

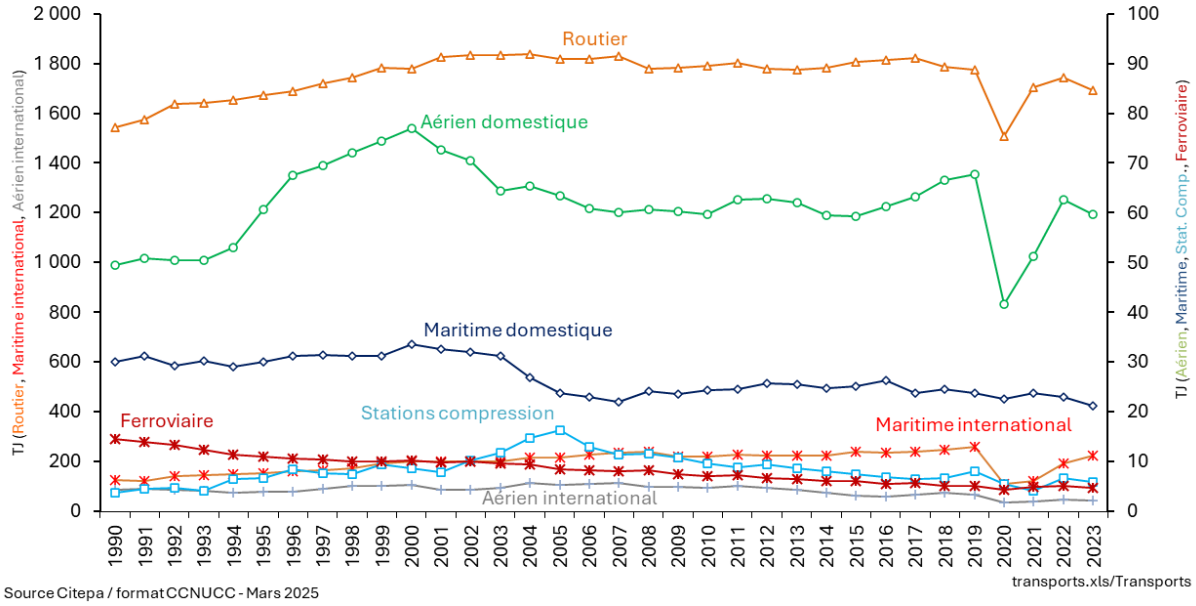
**Tableau 66 : Substances pour lesquelles le secteur 1.A.3 est source clé en 2022 (hors UTCATF*, périmètre France UE)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 1A3a | $CO_2$ | 18ème | 1,2% | 24ème | 0,9% |
| 1A3b | $CO_2$ | 1er | 30,7% | 1er | 18,0% |
| | $N_2O$ | 45ème | 0,3% | 59ème | 0,3% |
| | $CH_4$ | - | - | 54ème | 0,3% |
| 1A3c | $CO_2$ | - | - | - | - |
| 1A3d | $CO_2$ | 39ème | 0,4% | - | - |

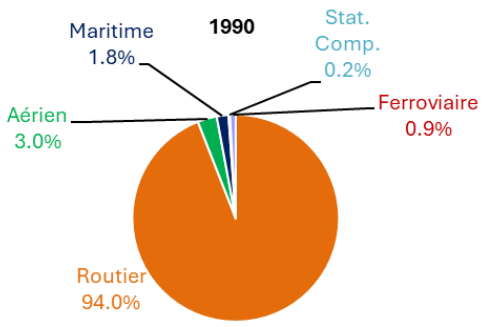
* Analyse hors UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)

Parmi tous les modes de transports, le transport routier (1.A.3.b.) constitue loin devant l'aérien domestique (1.A.3.a.ii domestique), le maritime domestique (1.A.3.d.), le ferroviaire (1.A.3.c.) et les stations de compression (1.A.3.e.) le plus important consommateur d'énergie avec 94,9 % (périmètre France UE) de la consommation du secteur du transport en 2023.

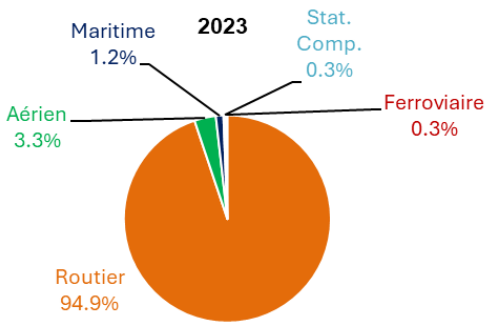
**Figure 36 : Consommation des différents modes de transports sur la période 1990 – 2023 et répartition (hors international) en 2023 (y compris agro-carburants) (Périmètre France UE)**




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 transports.xls/Transports




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2024 transports.xls/Transports

#### 3.2.7.1.1 Transport aérien (1.A.3.a.)

Le transport aérien est à l'origine d'émissions de diverses substances dans l'atmosphère. Ces dernières sont constituées schématiquement par :

- Les rejets lors de la combustion de carburants par les équipements de propulsion ou de servitude (par exemple les APU). Les engins militaires sont exclus pour des raisons de confidentialité. L'ensemble de l'activité militaire est inclus dans les sources institutionnelles (CRT 1.A.5),
- Les émissions connexes attachées aux aéronefs (usure des pneumatiques, des freins, érosion des pistes, etc.),
- Les émissions liées aux activités environnantes telles que : engins de piste, trafic routier induit, servitudes aéroports (chaufferie, restauration, entretien espaces verts, etc.). Ces sources sont généralement incluses dans les activités de même nature à une échelle plus générale (par exemple trafic routier, combustion, etc.). C'est pourquoi, cette catégorie n'est pas traitée dans cette section. Au niveau de la plateforme aéroportuaire, elles sont d'importance variable selon la taille du site. Il est parfois justifié de les appréhender spécifiquement. Le lecteur se reportera éventuellement au guide méthodologique développé par le Citepa [697].

Contrairement à la plupart des autres sources, les aéronefs se caractérisent par :

- Une altitude de rejet dans un domaine beaucoup plus étendu et variable au cours du vol, comprise entre le sol et plus de 10 000 m,
- Une localisation des rejets très étendue située dans des pays différents pour un même aéronef en vol international.

Par suite, en application des règles convenues dans le cadre des conventions internationales mais également de la particularité de la répartition du territoire français hors Europe continentale ainsi que de la variabilité des caractéristiques de fonctionnement des aéronefs au cours des différentes phases de vol, il est nécessaire de décomposer le trafic aérien en sous-ensembles relatifs :

- A la phase de vol, dite « LTO (Landing and Take Off) », située au-dessous 3 000 pieds (914 m, souvent arrondi à 1 000 m),
- A la phase de vol, dite « croisière », au-dessus de 3 000 pieds (914 m souvent arrondi à 1 000 m).

Chacun de ces deux sous-ensembles est lui-même partagé en :

- Trafic domestique ou intérieur (liaisons entre deux aéroports situés dans le pays considéré, en l'occurrence la France),
- Trafic international (liaisons entre deux aéroports, l'un en France l'autre à l'étranger) pour la contribution relative aux ventes de carburant sur le territoire national.

La combinaison de ces deux critères, conduit à définir quatre catégories qui sont diversement prises en compte dans les inventaires :

**Tableau 67 : Prise en compte des émissions en fonction des liaisons et des phases de vol**

| | Trafic < 1 000 m (LTO) | Trafic > 1 000 m (croisière) |
|---|---|---|
| **Liaisons domestiques** | SNAP 08.05.01 | SNAP 08.05.03 |
| | dans le total CCNUCC (1.A.3.a.) | |
| **Liaisons internationales** | SNAP 08.05.02 | SNAP 08.05.04 |

| | |
|---|---|
| | hors total CCNUCC (1.D.1.) |

**Le cycle LTO**

La partie du vol au-dessous de 3 000 pieds correspond aux phases de décollage et d'atterrissage des avions. Elle comprend plusieurs phases :

- L'approche (de 3 000 pieds au sol, soit environ 1 000 m),
- Le roulage sur la piste (après l'atterrissage et avant le décollage),
- Le parking,
- Le décollage,
- La montée (jusqu'à 3 000 pieds).

Les émissions dépendent de la durée de chacune de ces phases (elle-même variable selon les aéroports et les couples avion x moteur) et des caractéristiques des aéronefs (notamment du couple avion x moteur et des conditions d'exploitation).

Les émissions des APU (« Auxiliary Power Unit ») sont estimées et incluses dans les émissions LTO.

L'APU est un petit turboréacteur embarqué, qui permet à l'avion d'être autonome en escale pour l'air et l'électricité.

**La croisière**

La partie du vol au-dessus de 3 000 pieds dite « croisière » comporte :

- La montée (de 3 000 pieds à l'altitude de croisière),
- La croisière stabilisée (partie du vol à altitude stabilisée),
- La descente (de l'altitude de croisière à 3 000 pieds).

Les émissions dépendent de la durée de chacune de ces phases (elle-même variable selon les types d'avions) et des caractéristiques des aéronefs (selon les types d'avions et les conditions d'exploitation).

**Données caractéristiques du trafic civil**

Les données relatives aux mouvements des aéronefs sont recensées par la DGAC [127, 131, 132, 1137]. Ces données correspondent aux vols commerciaux et non commerciaux. Le temps de « taxi » est déterminé pour chaque aéroport, lorsque ces données sont disponibles dans les bases de la DGAC. En l'absence d'information, des données moyennes des années disponibles sont appliquées. Les aéroports pour lesquels aucune information n'est disponible se voient appliquer des temps forfaitaires et sont regroupés selon les classes suivantes :

- Roissy et Orly,
- Les 11 aéroports français dont les trafics commerciaux (en nombre de mouvements) sont les plus importants après Roissy et Orly : Ajaccio, Bâle-Mulhouse, Bordeaux-Aquitaine, Lille-Lesquin, Lyon-Satolas, Marseille-Provence, Montpellier-Méditerranée, Nantes-Atlantique, Nice-Côte d'Azur, Strasbourg-Entzheim, Toulouse-Blagnac,
- Les autres aéroports français,
- Les aéroports internationaux étrangers.

Les informations sur la motorisation des aéronefs et les consommations associées proviennent de différentes sources [903, 127, 128, 129, 130]. Certaines assimilations sont opérées en cas d'information manquante ou de multiples motorisations.

Le partage des liaisons entre métropole et l'Outre-mer (avec distinction des Territoires inclus dans l'Union Européenne -UE- ou non) est effectué en retenant l'hypothèse du partage pour moitié des liaisons respectives entre ces trois ensembles.

**Données statistiques de consommation**

Les données de ventes de carburants à usage de l'aviation [14] sont disponibles et permettent d'assurer un bouclage sur les consommations totales de carburants avions. Pour les territoires d'Outre-mer inclus ou non dans l'UE, c'est le bilan de l'énergie compilé par le Citepa qui est utilisé [666].

La consommation relative à la croisière internationale de la Métropole ($Conso_{CR,Int,MT}$) est bornée par le solde obtenu entre le total des ventes françaises ($VENTES_{MT+OM}$) diminué des consommations déterminées pour les cycles LTO des vols domestiques et internationaux pour la Métropole et l'Outre-Mer ($Conso_{LTO,Dom,MT,}$ $Conso_{LTO,Dom,OM}$ $Conso_{LTO,Int,MT}$ $Conso_{LTO,Int,OM}$) ainsi que pour les croisières des vols domestiques pour la Métropole et l'Outre-Mer ($Conso_{CR,Dom,MT,}$, $Conso_{CR,Dom,OM}$) et la croisière internationale pour Outre-mer ($Conso_{CR,Int,OM}$).

$$Conso_{CR,Int,MT} = VENTES_{MT+OM} - Conso_{LTO,Dom,MT} - Conso_{LTO,Dom,OM} - Conso_{LTO,Int,MT} - Conso_{LTO,Int,OM} - Conso_{CR,Dom,MT} - Conso_{CR,Dom,OM} - Conso_{CR,Int,OM}$$

Toutes les consommations à droite du signe égal de l'équation ci-dessus sont calculées à partir du modèle développé par le Citepa avec la DGAC (TARMAAC[21]). Le bouclage n'est pas fait séparément pour la métropole et pour chaque territoire d'outre-mer, car pour ces derniers, il peut exister pour certaines années, en fonction de données économiques, des effets de bunkering (i.e. les avions font une escale pour simplement faire le plein dans un pays étranger au cours d'un vol domestique).

Dans ce sous-secteur des transports, la consommation et les rejets lors de la combustion des carburants par les équipements de propulsion ou de servitude sont pris en compte. Les engins militaires sont exclus pour des raisons de confidentialité (l'ensemble de l'activité militaire est inclus dans le CRT 1.A.5.). De même, les émissions liées aux activités environnantes (engins de piste, trafic routier induit, chaufferie, etc.) ne sont pas incluses en 1.A.3.a. mais dans les activités de même nature à une échelle plus générale (par exemple les consommations des engins de pistes sont comptabilisées dans le 1.A.2.g., le trafic routier induit dans le 1.A.3.b., etc.).

Le pic des émissions de $CO_2$ et de $N_2O$ a été atteint en 2000 (cf.

**Figure** 37) pour le transport domestique. Depuis, une baisse régulière est observée, qui semble s'être stabilisée entre 2007 et 2015 alors que le trafic en passager x kilomètre équivalent (i.e., incluant le transport de fret) subit une hausse continue (cf.

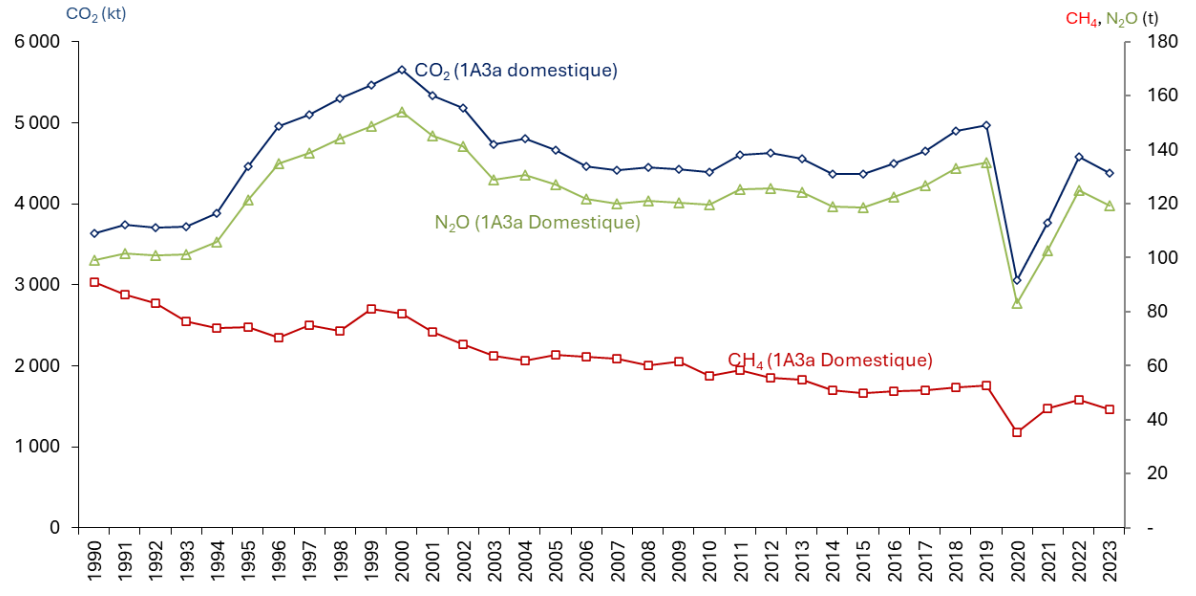
**Figure** 40).

Cette décorrélation (entre 2007 et 2015) des émissions et des consommations vis-à-vis du trafic en passager x +kilomètre équivalent est liée d'une part à la mise en place sur les avions de moteurs moins énergivores, d'un meilleur remplissage des avions et moins polluants (qui explique la tendance des émissions de $CH_4$), et d'autre part à la concurrence et/ou du report modal vers le transport ferroviaire à grande vitesse (TGV) pour le trafic domestique.

La hausse du trafic international en passager x kilomètres équivalent depuis 2015 ne compense pas complètement la baisse des consommations unitaires, ainsi trafic, consommation et émissions redeviennent corrélées. En 2020, la crise sanitaire du Covid-19 a eu un impact conséquent sur le trafic, les consommations et les émissions. Cet impact s'est traduit en une baisse du trafic domestique de 45 % et de 62 % pour le trafic l'international, par rapport à 2019. Pour la consommation, une baisse de 39 % liée au trafic domestique et de 57 % liée au trafic international est constatée pour cette même année, par rapport à 2019. Enfin, les émissions liées au trafic domestique ont connu une baisse de 39 %, tandis que celles liées au trafic international ont baissé de 57 %, par rapport à 2019.

Après une remontée des trafics domestique et international suite à la crise COVID-19 de 2020 sur la période 2021-2022, en 2023 le trafic domestique est en légère baisse (-0,3 % de passagers x km) et le trafic international continue sa hausse (+19% de passagers x km) Les consommations et les émissions évolue dans la même dynamique.

**Figure 37 : Emissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile domestique (périmètre France UE)**

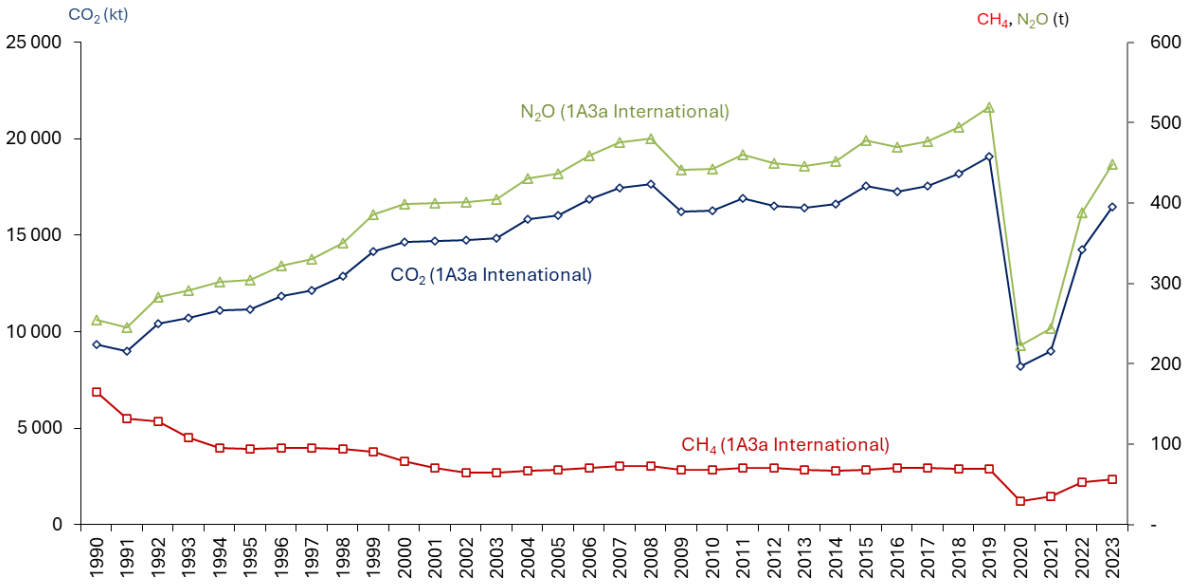



Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025

transports.xlsx/Avion

[21] TARMAAC : Traitements et Analyses des Rejets éMis dans l'Atmosphère par l'Aviation Civile

**Figure 38 : Emissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile internationale (périmètre France UE)**

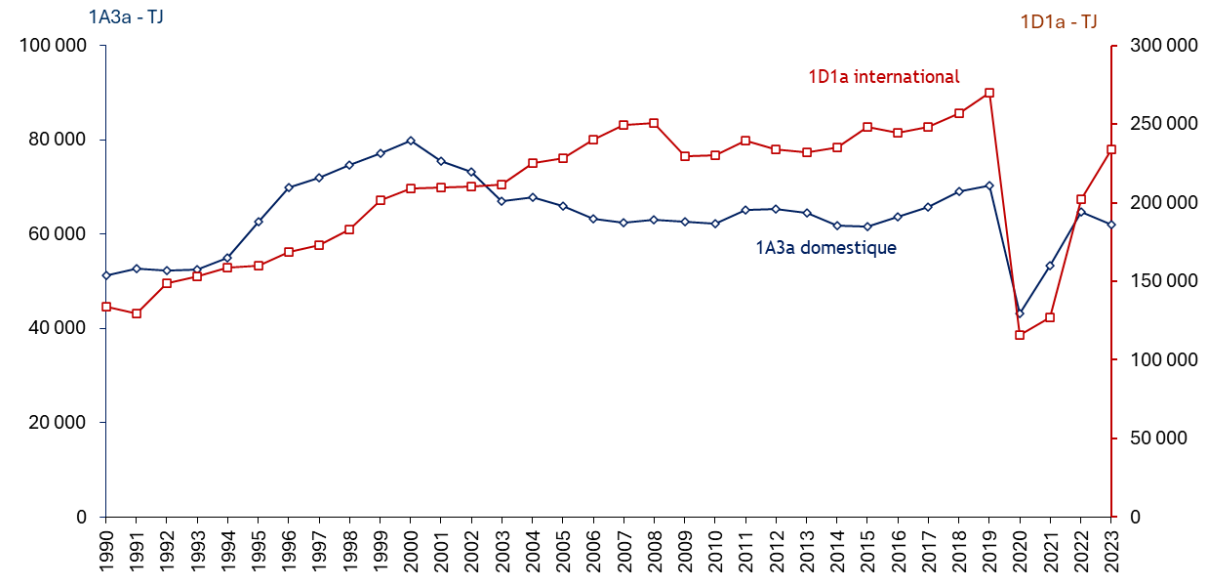



Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025

transports.xlsx/Avion

Le graphique suivant présente l'évolution des consommations de carburants de l'aviation civile touchant la Métropole et l'Outre-mer (les consommations du trafic international sont données à titre indicatif car non comptées dans cette catégorie).

**Figure 39 : Consommations de carburants de l'aviation civile touchant la Métropole et l'Outre-mer**

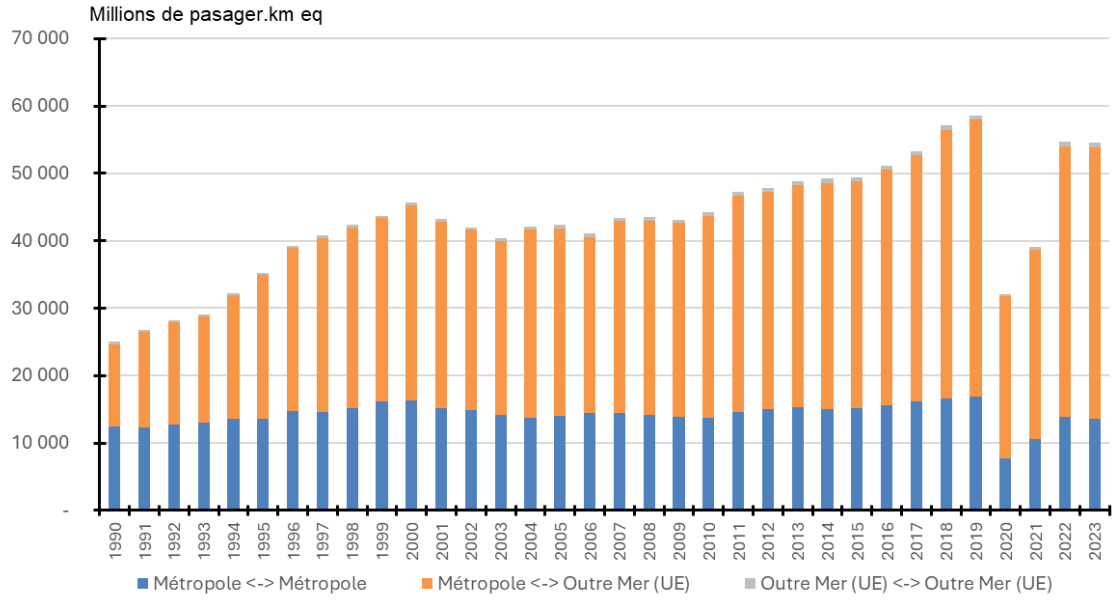



Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025

transports.xlsx/Avion

Les figures suivantes présentent l'évolution du nombre de passagers x km du trafic domestique et du trafic international par type de faisceau.

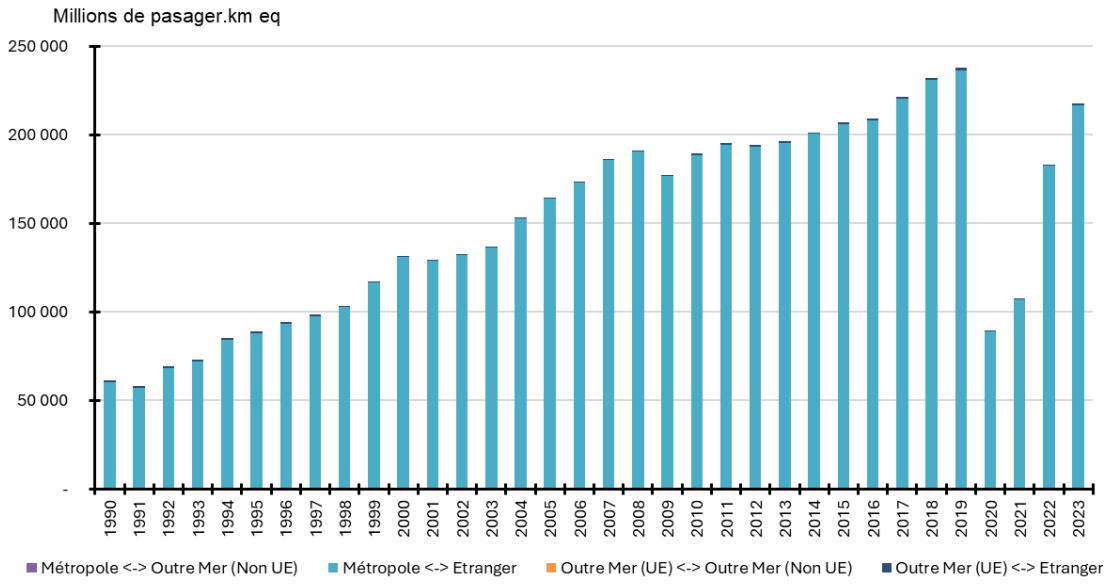
**Figure 40 : Trafic domestique en millions de passagers.km**




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025

transports.xlsx/Avion

**Figure 41 : Trafic international en milliers de passagers**




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025

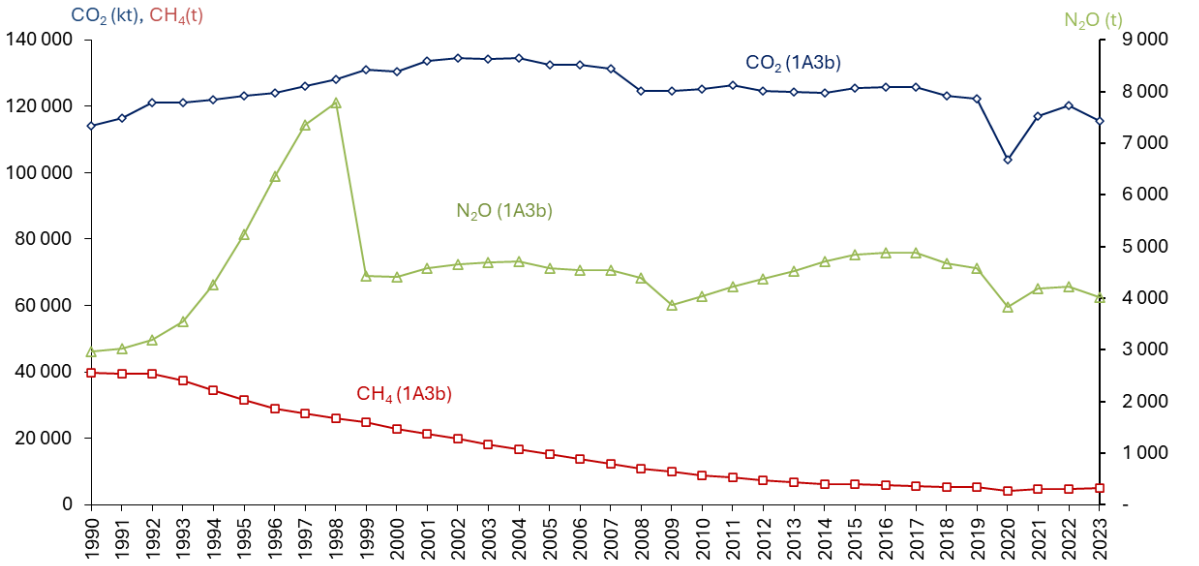
transports.xlsx/Avion

#### 3.2.7.1.2 Transport routier (1.A.3.b.)

Les émissions associées aux transports routiers sont liées à plusieurs types de phénomènes qui peuvent être classés dans ces trois grandes catégories :

- **Les émissions à l'échappement** : elles incluent celles générées par la combustion des carburants dans les moteurs et par le post-traitement des gaz d'échappement (comme les pots catalytiques et les filtres à particules), visant à réduire les polluants avant leur rejet dans l'atmosphère,
- **Les émissions par évaporation des carburants et liées aux fuites des climatisations :**
  - L'évaporation de composés organiques volatils (COV) contenus dans les carburants tant lors du fonctionnement qu'à l'arrêt du véhicule,
  - Les fuites de fluides frigorigènes utilisés pour la climatisation,
- **Les émissions par abrasion :**
  - L'abrasion mécanique de divers organes des véhicules (freins, pneumatiques),
  - L'usure du revêtement routier.

Il faut observer (Figure 42**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) que l'année 2004 a enregistré le plus haut niveau d'émission de $CO_2$. Ces émissions sont depuis en recul, traduisant notamment une évolution des comportements du fait de l'impact des hausses des prix des carburants (Figure 42 : Emissions de gaz à effet de serre du transport routier en France métropolitaine et en Outre-mer (périmètre France UE)




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 transports.xlsx/Routier

Les fortes baisses de N2O entre 1998 et 1999 et entre 2008 et 2009 sont liées au changement de taux de soufre dans les carburants en Métropole (cf. Méthode d'estimation des émissions de N2O du transport routier plus loin). La hausse progressive et continue des émissions avant 2000 est liée aux voitures particulières essence Euro 1. La diésélisation du parc (cf. **Figure 46**) fait qu'après 2010, ce sont les voitures particulières diesel qui influent sur la tendance des émissions. La dé-diésélisation du parc depuis 2015 fait que les émissions diminuent lentement depuis cette date.

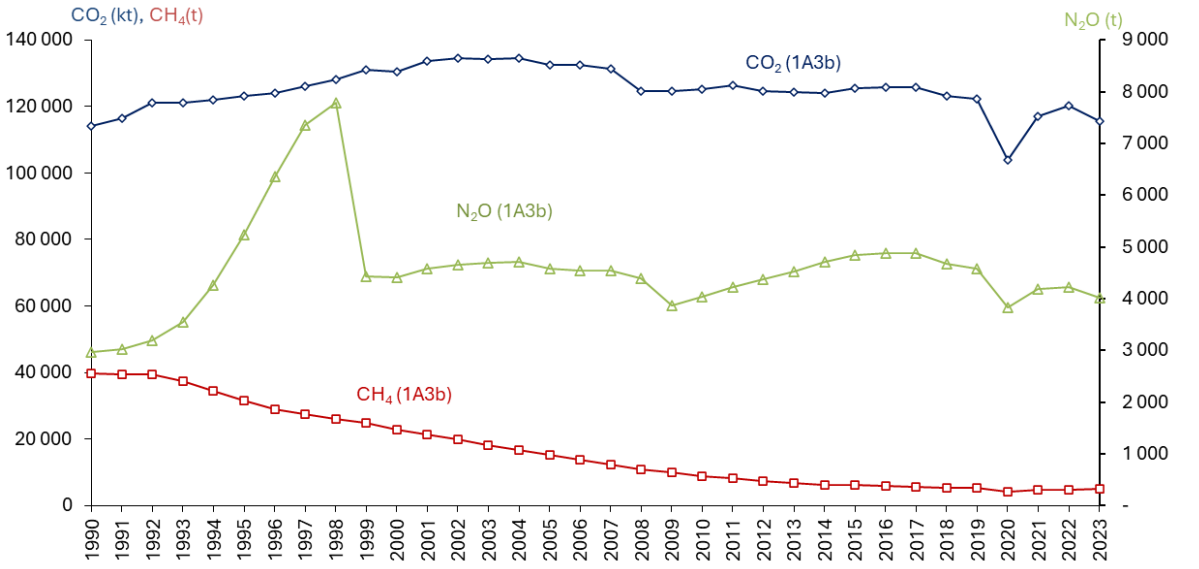
Les émissions de CH4 sont en baisses régulières depuis le début des années 1990 par suite de la mise en place des catalyseurs sur les véhicules essences.

En 2020, la crise sanitaire du Covid-19 a eu un impact très fort sur le trafic, les consommations et les émissions. La reprise progressive de l'activité économique et la levée des restrictions depuis 2021 ont induit une reprise du trafic, et ainsi des émissions. Depuis 2022, les émissions de CO2, de N2O et de CH4 reviennent dans la tendance des années pré-Covid (cf. **Figure 42Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Figure 43) et de vitesses plus limitées (mise en place de radars automatiques,

Figure 44), ainsi que le renouvellement du parc roulant incluant des modèles moins énergivores. A cela, il convient d'ajouter l'augmentation de la part d'agro-carburants incorporés (uniquement en métropole car il n'y a, à ce jour, pas d'incorporation d'agro-carburants en Outre-mer). Le bas niveau des émissions en 2008 et 2009 est lié à la crise économique qui a induit une augmentation rapide du prix des carburants et donc un changement dans les comportements de déplacements. Au printemps 2022, les prix des carburants à la pompe ont atteint un niveau record dépassant pour l'essence et le gazole les 2 € par litre. Les principales raisons expliquant ce phénomène sont la reprise économique post-covid et le conflit en Ukraine.

**Figure 42 : Emissions de gaz à effet de serre du transport routier en France métropolitaine et en Outre-mer (périmètre France UE)**



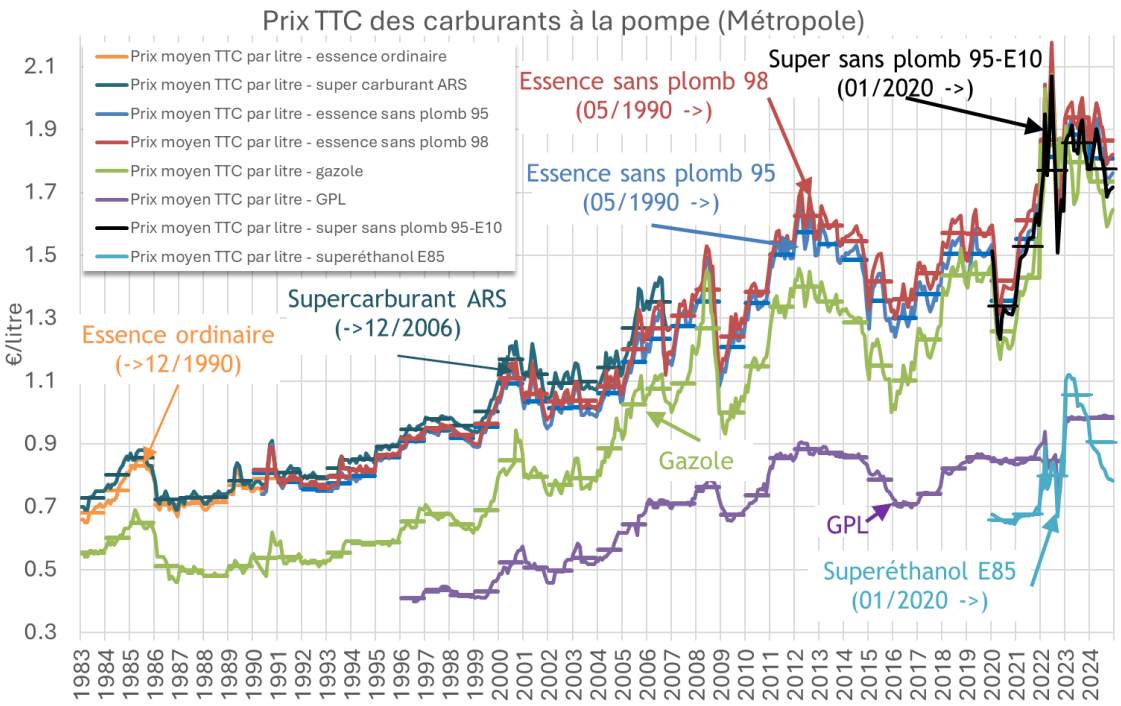

Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 transports.xlsx/Routier

Les fortes baisses de $N_2O$ entre 1998 et 1999 et entre 2008 et 2009 sont liées au changement de taux de soufre dans les carburants en Métropole (cf. Méthode d'estimation des émissions de $N_2O$ du transport routier plus loin). La hausse progressive et continue des émissions avant 2000 est liée aux voitures particulières essence Euro 1. La diésélisation du parc (cf. Figure 46) fait qu'après 2010, ce sont les voitures particulières diesel qui influent sur la tendance des émissions. La dé-diésélisation du parc depuis 2015 fait que les émissions diminuent lentement depuis cette date.

Les émissions de $CH_4$ sont en baisses régulières depuis le début des années 1990 par suite de la mise en place des catalyseurs sur les véhicules essences.

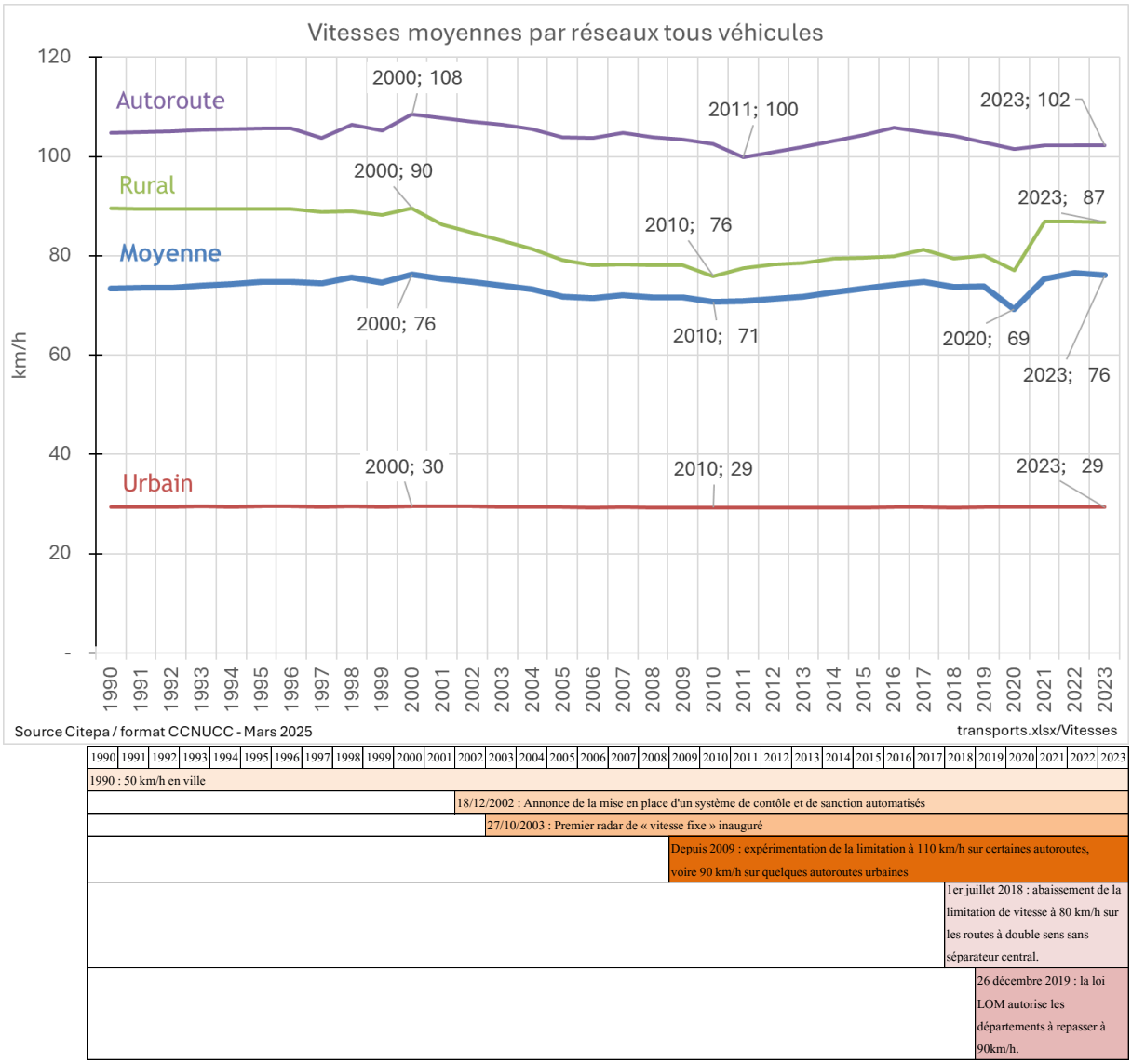
En 2020, la crise sanitaire du Covid-19 a eu un impact très fort sur le trafic, les consommations et les émissions. La reprise progressive de l'activité économique et la levée des restrictions depuis 2021 ont induit une reprise du trafic, et ainsi des émissions. Depuis 2022, les émissions de $CO_2$, de $N_2O$ et de $CH_4$ reviennent dans la tendance des années pré-Covid (cf. Figure 42**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

**Figure 43 : Prix des carburants à la pompe (Métropole)**




**Source** : SDeS - Conjoncture mensuelle de l'énergie

**Figure 44 : Vitesses moyennes par réseaux tous véhicules (Métropole)**




La figure ci-après montre l'évolution des consommations des carburants du routier. L'évolution de la consommation de gazole est liée à la diésélisation du parc de véhicules particuliers.

Les carburants alternatifs (GPLc et GNV) ont des niveaux très bas (< 1 %) et ont des variations qui sont fonctions des incitations fiscales sur ces carburants et à l'achat des véhicules neufs.

**Figure 45 : Consommations des différents carburants du transport routier sur la période 1990 – 2022 et répartition en 1990 et 2022 (y compris agro-carburants) (Périmètre France UE)**

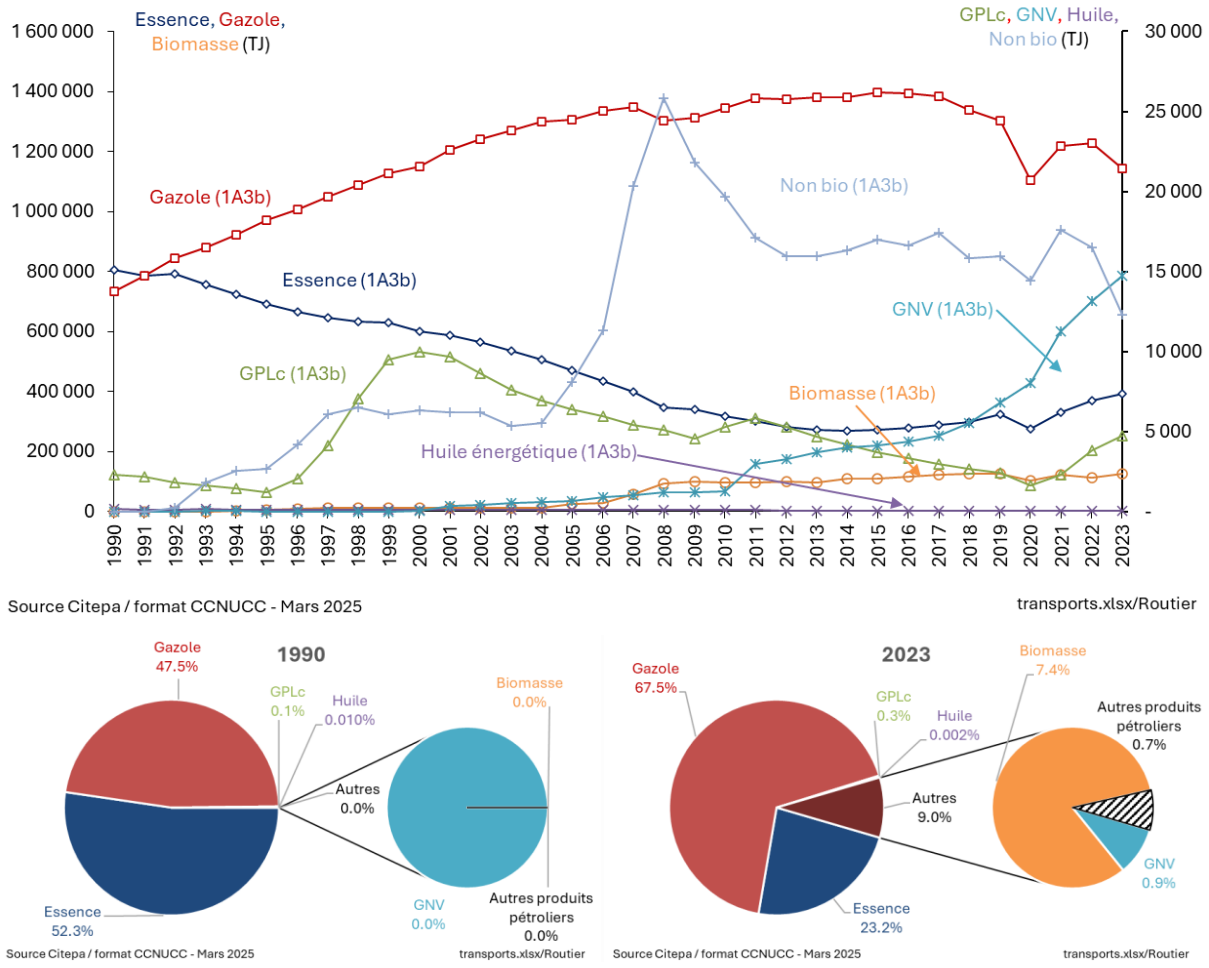



**Figure 46 : Taux de diésélisation du parc des véhicules particuliers en France**

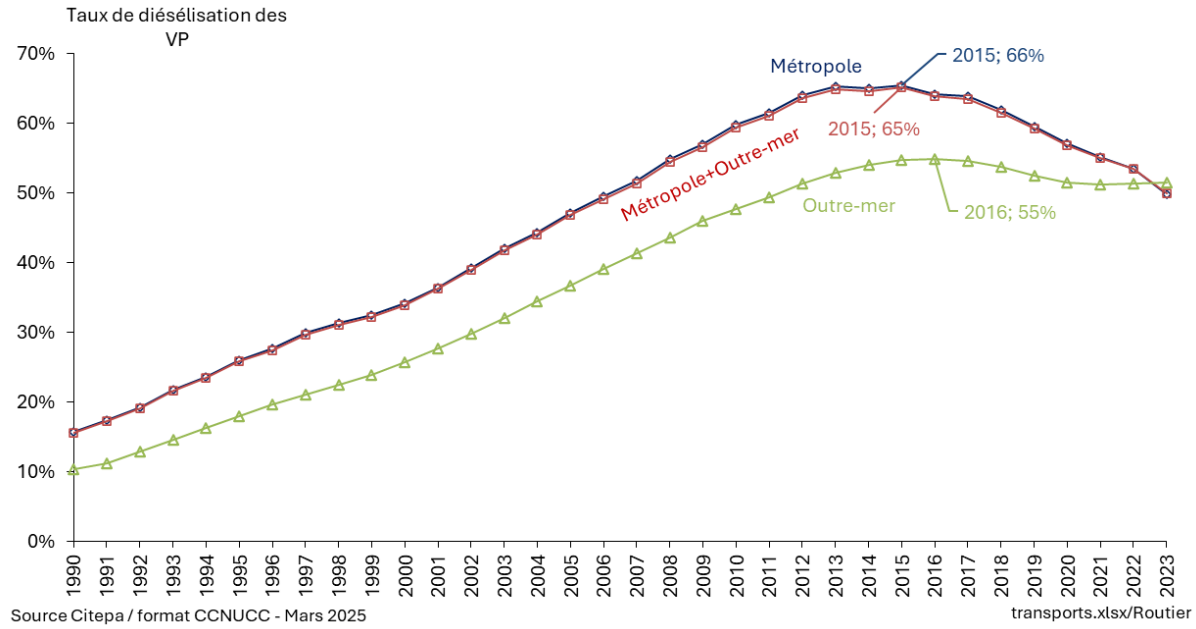
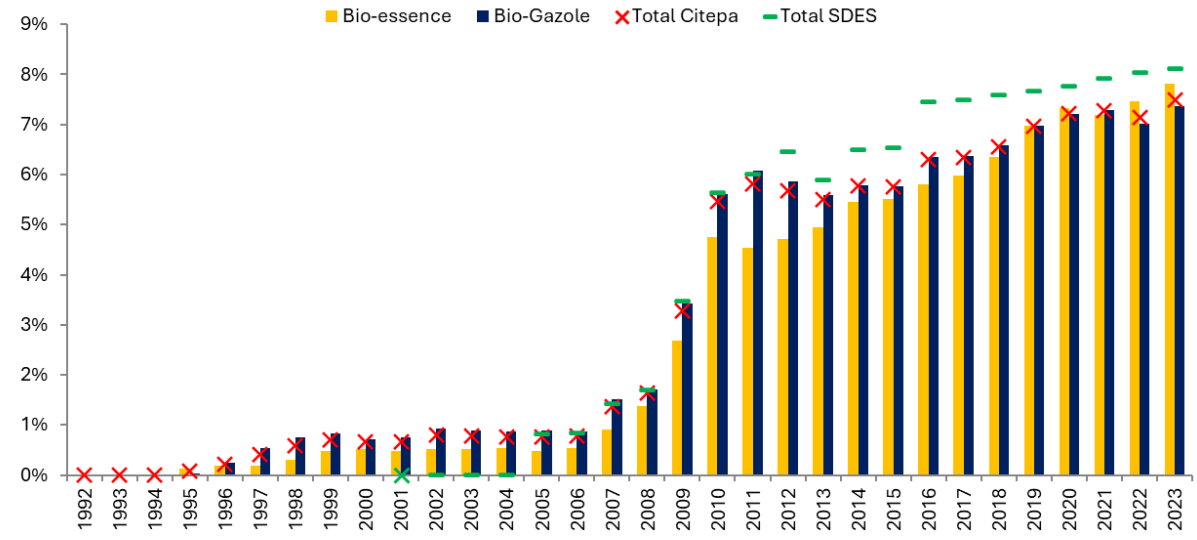


**Figure 47 : Taux d'incorporation d'agro-carburants en France métropolitaine**




Source Citepa / format OMINEA - février 2025 Routier_OMINEA.xlsx / Agrocarburants.gr

Concernant les agro-carburants, une légère différence est observée entre le total Citepa et celui du SDES (DGEC) en ce qui concerne le taux d'incorporation d'agro-carburants (

Figure 47). Cela s'explique d'une part, par l'application de valeurs différentes pour le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) et d'autre part, par le fait que le Citepa considère que les EMAG, constituant du bio-gazole, ne sont pas à 100 % d'origine biogénique (l'estérification conduit à ce qu'une part de carbone fossile - ~5 % -se retrouve dans le bio-gazole). De même, pour l'ETBE, seule la partie bio (47 %) est prise en compte. Il y a aussi la possibilité au niveau communautaire de faire du double comptage de certains agro-carburants (ceux en non-concurrence avec l'alimentation) lors du rapportage. Dans le

Tableau 68, les parties non-bio des agro-carburants sont incluses dans les produits pétroliers.

Dans le

Tableau 68 et le

Tableau 69, les quantités d'huiles indiquées, représentent les quantités brûlées uniquement. Soit la totalité de l'huile pour les moteurs 2-temps, à savoir 3 % en volume de la consommation d'essence et seulement une fraction du volume total pour les moteurs 4-temps qui correspond aux gaz dits de blow-by. C'est-à-dire les gaz remontant dans la chambre de combustion par la segmentation. Cette fraction d'huile consommée varie, à la fois selon l'âge du véhicule et sa catégorie.

**Tableau 68 : Consommations des différents combustibles et de l'huile en France métropolitaine.**

Routier_OMINEA.xlsx/Conso

| Conso Métropole (kt) | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Essence (kt) | 17900 | 17457 | 17543 | 16838 | 16069 | 15324 | 14806 | 14492 | 14243 | 14157 |
| Bio-Essence (kt) | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 4 | 32 | 44 | 45 | 72 | 109 |
| Essence+Bio-Essence (kt) | 17900 | 17457 | 17543 | 16838 | 16073 | 15356 | 14851 | 14536 | 14315 | 14266 |
| Gazole (kt) | 16985 | 18223 | 19580 | 20373 | 21432 | 22613 | 23425 | 24369 | 25169 | 26044 |
| Bio-Gazole (kt) | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 1 | 8 | 64 | 152 | 215 | 247 |
| Gazole+Bio-Gazole (kt) | 16985 | 18223 | 19580 | 20373 | 21433 | 22620 | 23489 | 24521 | 25384 | 26291 |
| Huile 4 tps (kt) | 56 | 58 | 60 | 61 | 62 | 62 | 63 | 65 | 66 | 69 |
| Huiles 2 tps (kt) | 3.5 | 3.3 | 3.1 | 3.7 | 3.0 | 2.5 | 2.4 | 2.7 | 3.2 | 3.0 |
| | **2000** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2005** | **2006** | **2007** | **2008** | **2009** |
| Essence (kt) | 13468 | 13191 | 12664 | 11924 | 11335 | 10614 | 9969 | 9505 | 8699 | 8397 |
| Bio-Essence (kt) | 115 | 105 | 108 | 101 | 100 | 85 | 87 | 140 | 195 | 362 |
| Essence+Bio-Essence (kt) | 13583 | 13295 | 12771 | 12025 | 11435 | 10698 | 10056 | 9645 | 8894 | 8759 |
| Gazole (kt) | 26661 | 27900 | 28628 | 29337 | 30027 | 30385 | 31125 | 31770 | 31489 | 31256 |
| Bio-Gazole (kt) | 219 | 242 | 305 | 300 | 297 | 307 | 311 | 558 | 623 | 1263 |
| Gazole+Bio-Gazole (kt) | 26880 | 28142 | 28933 | 29637 | 30324 | 30692 | 31436 | 32328 | 32112 | 32519 |
| Huile 4 tps (kt) | 67 | 70 | 70 | 71 | 72 | 72 | 73 | 73 | 72 | 75 |
| Huiles 2 tps (kt) | 2.9 | 2.8 | 2.8 | 2.5 | 2.5 | 2.4 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.3 |
| | **2010** | **2011** | **2012** | **2013** | **2014** | **2015** | **2016** | **2017** | **2018** | **2019** |
| Essence (kt) | 7851 | 7435 | 6926 | 6694 | 6694 | 6798 | 6983 | 7266 | 7564 | 8139 |
| Bio-Essence (kt) | 593 | 538 | 520 | 526 | 579 | 594 | 635 | 676 | 722 | 842 |
| Essence+Bio-Essence (kt) | 8444 | 7974 | 7446 | 7220 | 7274 | 7392 | 7619 | 7942 | 8286 | 8981 |
| Gazole (kt) | 31131 | 31528 | 31657 | 31902 | 32023 | 32394 | 32156 | 32092 | 30980 | 30022 |
| Bio-Gazole (kt) | 2104 | 2324 | 2239 | 2137 | 2232 | 2254 | 2468 | 2458 | 2454 | 2516 |
| Gazole+Bio-Gazole (kt) | 33235 | 33852 | 33896 | 34039 | 34255 | 34648 | 34623 | 34551 | 33434 | 32537 |
| Huile 4 tps (kt) | 78 | 79 | 78 | 77 | 81 | 83 | 84 | 84 | 83 | 86 |
| Huiles 2 tps (kt) | 2.1 | 2.1 | 2.0 | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| | **2020** | **2021** | **2022** | **2023** | | | | | | |
| Essence (kt) | 6981 | 8527 | 9486 | 10008 | | | | | | |
| Bio-Essence (kt) | 761 | 915 | 1095 | 1190 | | | | | | |
| Essence+Bio-Essence (kt) | 7742 | 9442 | 10581 | 11198 | | | | | | |
| Gazole (kt) | 25292 | 28072 | 28005 | 26270 | | | | | | |
| Bio-Gazole (kt) | 2194 | 2433 | 2366 | 2337 | | | | | | |
| Gazole+Bio-Gazole (kt) | 27485 | 30505 | 30371 | 28606 | | | | | | |
| Huile 4 tps (kt) | 70 | 79 | 89 | 87 | | | | | | |
| Huiles 2 tps (kt) | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | | | | | | |

**Tableau 69 : Consommations des différents combustibles et de l'huile en Outre-mer.**

Routier_OMINEA.xlsx/Conso

| Conso DOM&COM (kt) | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Essence (kt) | 533 | 548 | 563 | 572 | 583 | 586 | 580 | 577 | 520 | 528 |
| Gazole (kt) | 322 | 346 | 369 | 393 | 412 | 424 | 478 | 478 | 492 | 518 |
| Huile 4 tps (kt) | 1.6 | 1.6 | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.7 | 1.8 |
| Huiles 2 tps (kt) | 0.26 | 0.25 | 0.21 | 0.25 | 0.17 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.12 |
| | **2000** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2005** | **2006** | **2007** | **2008** | **2009** |
| Essence (kt) | 532 | 555 | 552 | 546 | 543 | 527 | 508 | 503 | 483 | 468 |
| Gazole (kt) | 547 | 589 | 628 | 653 | 688 | 712 | 742 | 776 | 806 | 817 |
| Huile 4 tps (kt) | 1.9 | 2.0 | 2.1 | 2.1 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 |
| Huiles 2 tps (kt) | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| | **2010** | **2011** | **2012** | **2013** | **2014** | **2015** | **2016** | **2017** | **2018** | **2019** |
| Essence (kt) | 464 | 439 | 435 | 426 | 417 | 427 | 446 | 441 | 455 | 469 |
| Gazole (kt) | 858 | 866 | 878 | 890 | 893 | 923 | 952 | 948 | 931 | 938 |
| Huile 4 tps (kt) | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.5 | 2.7 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 3.0 |
| Huiles 2 tps (kt) | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| | **2020** | **2021** | **2022** | **2023** | | | | | | |
| Essence (kt) | 423 | 465 | 505 | 520 | | | | | | |
| Gazole (kt) | 853 | 889 | 901 | 880 | | | | | | |
| Huile 4 tps (kt) | 2.7 | 2.8 | 3.1 | 3.2 | | | | | | |
| Huiles 2 tps (kt) | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | | | | | | |

**Tableau 70 : Répartition des consommations pour l'Outre-mer entre les DOM (périmètre France UE) et les autres territoires (COM)**

Routier_OMINEA.xlsx/Conso

| Répartition DOM/COM % | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % Essence DOM | 80% | 81% | 81% | 80% | 81% | 81% | 80% | 80% | 78% | 78% |
| % Essence COM | 20% | 19% | 19% | 20% | 19% | 19% | 20% | 20% | 22% | 22% |
| % Gazole DOM | 69% | 69% | 68% | 67% | 68% | 71% | 69% | 73% | 71% | 74% |
| % Gazole COM | 31% | 31% | 32% | 33% | 32% | 29% | 31% | 27% | 29% | 26% |
| | **2000** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2005** | **2006** | **2007** | **2008** | **2009** |
| % Essence DOM | 78% | 79% | 79% | 79% | 78% | 77% | 77% | 76% | 74% | 74% |
| % Essence COM | 22% | 21% | 21% | 21% | 22% | 23% | 23% | 24% | 26% | 26% |
| % Gazole DOM | 73% | 75% | 74% | 75% | 76% | 77% | 78% | 79% | 78% | 78% |
| % Gazole COM | 27% | 25% | 26% | 25% | 24% | 23% | 22% | 21% | 22% | 22% |
| | **2010** | **2011** | **2012** | **2013** | **2014** | **2015** | **2016** | **2017** | **2018** | **2019** |
| % Essence DOM | 74% | 72% | 72% | 71% | 71% | 71% | 70% | 70% | 71% | 71% |
| % Essence COM | 26% | 28% | 28% | 29% | 29% | 29% | 30% | 30% | 29% | 29% |
| % Gazole DOM | 78% | 78% | 79% | 79% | 79% | 79% | 79% | 79% | 79% | 80% |
| % Gazole COM | 22% | 22% | 21% | 21% | 21% | 21% | 21% | 21% | 21% | 20% |
| | **2020** | **2021** | **2022** | **2023** | | | | | | |
| % Essence DOM | 70% | 72% | 72% | 73% | | | | | | |
| % Essence COM | 30% | 28% | 28% | 27% | | | | | | |
| % Gazole DOM | 79% | 80% | 80% | 80% | | | | | | |
| % Gazole COM | 21% | 20% | 20% | 20% | | | | | | |

### 3.2.7.1.3 Transport ferroviaire (1.A.3.c.)

Deux sources d'émissions sont différenciées : les émissions issues de la combustion et les émissions provenant de l'usure des freins, rails, roues et caténaires.

En ce qui concerne les émissions liées à la combustion, seuls les modes de tractions à motorisation Diesel, à savoir les locomotives, les autorails et les locotracteurs sont considérés. La traction électrique est supposée ne pas émettre de gaz à effet de serre liés à l'utilisation de l'énergie, les émissions liées à la production d'électricité étant comptabilisées au lieu de la production. Depuis 2011, le gazole non-routier (GNR) remplace le gazole dans le ferroviaire qui lui-même a remplacé le fioul domestique en 2006. Ces trois combustibles ont quasiment les mêmes caractéristiques physiques (excepté pour le soufre), mais sont assujettis à une fiscalité différente.

Le GNR (à partir de 2011) et le gazole (à partir de 2006) ont permis l'incorporation d'agro-carburants.

Le transport ferroviaire n'a lieu qu'en métropole.

Cette section couvre les émissions du transport ferroviaire de voyageurs et de marchandises. Les émissions des sources fixes (gares, locaux, etc.) ne sont pas considérées ici mais dans le secteur résidentiel/tertiaire.

L'utilisation du charbon dans les trains commerciaux s'est arrêtée en 1974. Il existe encore quelques trains touristiques qui fonctionnent avec du charbon, mais les quantités mises en œuvre sont trop faibles pour apparaitre dans le bilan de l'énergie. Le charbon utilisé et les émissions de gaz à effet de serre associées pour ces engins sont donc inclus dans le secteur CRT 1.A.4.a.

Alors qu'elle était de 40 % en 1990, la consommation d'énergie des tractions Diesel représente en 2023 moins de 15 % de la consommation totale d'énergie de la traction ferroviaire.

En 2020, la crise sanitaire du Covid-19 a eu un impact très fort sur le trafic (surtout passager), sur les consommations et dans une moindre mesure sur les émissions. En 2021, le trafic et les consommations reprennent par rapport à 2020 sans pour autant atteindre le niveau de 2019. Les émissions de 2023 sont dans la tendance pré-covid.

**Figure 48 : Consommations d'énergies (y compris agro-carburants) du transport ferroviaire en France métropolitaine**

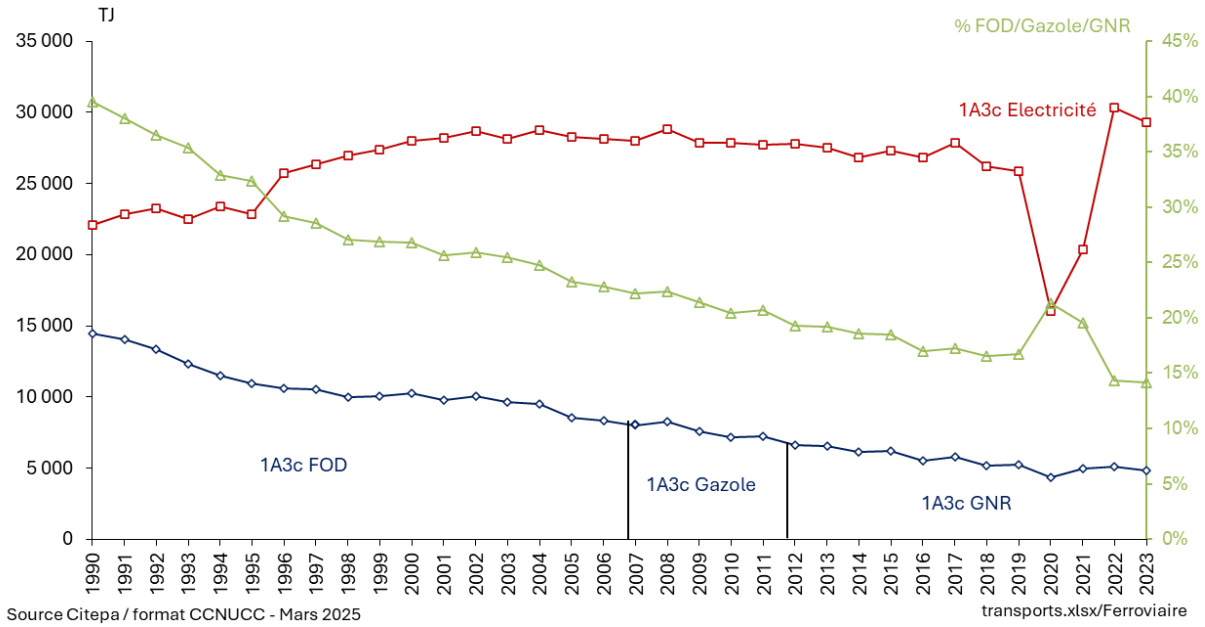
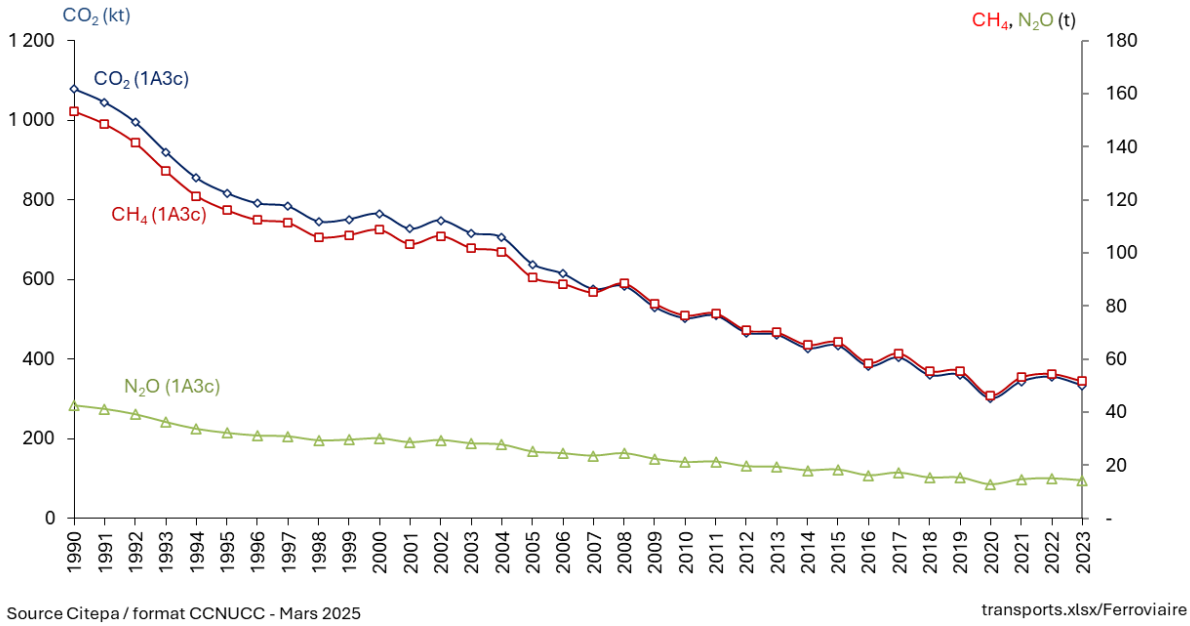


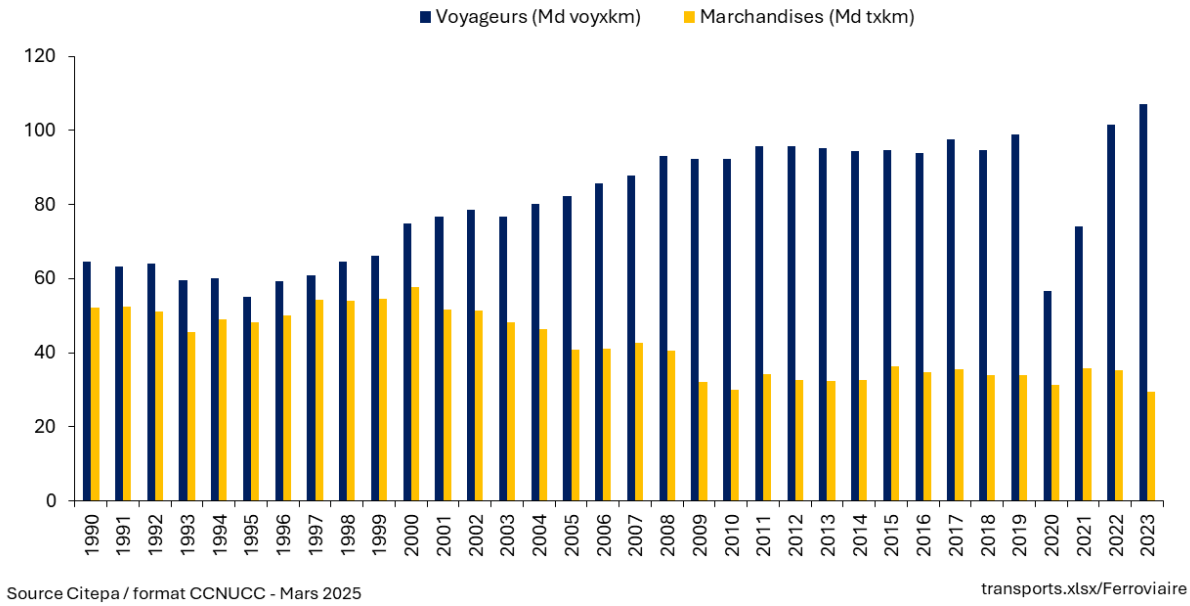
**Figure 49 : Emissions de gaz à effet de serre du transport ferroviaire en France métropolitaine**




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 transports.xlsx/Ferroviaire

La baisse des consommations et des émissions est décorrélée des trafics car les engins à propulsion Diesel sont remplacés par des engins à propulsion électrique.

**Figure 50 : Trafics ferroviaires de passagers (en Milliard de passagers x kilomètres) et de marchandises (en Milliard de tonnes x kilomètres)**




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 transports.xlsx/Ferroviaire

### 3.2.7.1.4 Transport maritime et voie navigable (1.A.3.d.)

Pour le transport maritime (hors plaisance), la méthode appliquée est de rang GIEC 2 pour le $CO_2$. Pour les autres substances, la méthode est de rang GIEC 1.

Cette catégorie regroupe les émissions de la combustion de différentes activités :

- le transport des biens et des personnes par voie maritime entre 2 ports français,

- le transport de marchandises sur les voies navigables intérieures (fleuves, canaux, etc.).

*Transport maritime*

L'utilisation de combustibles fossiles dans les équipements de propulsion des navires engendre comme tout phénomène de combustion des émissions dans l'atmosphère. Les éventuelles émissions liées à d'autres phénomènes (fuites diverses au remplissage et au chargement de produits solides, liquides ou gazeux, des systèmes frigorifiques, etc.) ne sont pas prises en compte faute d'informations.

En application des règles convenues dans le cadre des conventions internationales mais également de la particularité de la répartition du territoire français hors Europe, il est nécessaire de décomposer le trafic maritime en sous-ensembles relatifs :

- Au trafic domestique, liaisons entre deux ports d'un même pays ;
- Au trafic international, liaisons entre deux ports dont l'un est situé dans un pays étranger.

Le pavillon, la nationalité de l'armateur, etc. ne sont pas des critères déterminants du pays auquel les émissions sont affectées.

L'activité de transport maritime est caractérisée par la consommation de combustibles. Bien que cette dernière diffère selon le type de navire, sa jauge brute et les diverses phases de navigation (croisière, approche/manœuvre, stationnement dans les ports), les inventaires nationaux s'appuient actuellement sur la consommation totale de combustibles. Une distinction plus fine selon les paramètres cités ci-dessus est certainement plus pertinente vis-à-vis des émissions d'une zone particulière telle qu'un port, un estuaire, une liaison, etc.

Il est a noté que le trafic maritime est décorrélé des ventes de carburants. En effet, beaucoup de navires peuvent faire escale dans un port français sans avitailler.

Le CPDP [14] communique chaque année les consommations, pour la métropole, de diesel marine léger (DML) et de fioul lourd (FOL) des soutes françaises d'une part et étrangères d'autre part. La même référence renseigne globalement les soutes pour l'Outre-mer y compris les COM (pas de distinguo national/international). Il est utile de rappeler que :

- Les soutes n'incluent pas les avitaillements sous douane destinés aux bateaux de pêche, aux caboteurs ainsi qu'aux engins et matériels flottants ;
- La distinction entre les soutes françaises et étrangères est établie en fonction du pavillon du navire, sachant que les navires étrangers autorisés à transporter pour le compte d'affréteurs français sont pris en compte avec les soutes françaises.

La DIMAH [167] fournit des données équivalentes jusqu'en 2000 pour l'Outre-mer y compris les COM. Pour ces territoires, l'absence de données détaillées après cette date est palliée par l'hypothèse d'une structure inchangée dans la répartition des combustibles par type d'usage. Les écarts engendrés sont faibles en valeur absolue compte tenu des quantités en jeu et du bouclage sur le bilan énergétique global de chacun de ces territoires.

La répartition du trafic entre liaisons nationales et internationales est complexe à établir car les données existantes ne permettent pas d'en faire durablement la distinction. L'absence de données détaillées concernant la part des ventes des soutes maritimes affectée au trafic domestique au regard de celles affectées au trafic international est palliée les hypothèses détaillées ci-après, établie selon une procédure de type bottom-up.

Pour les Départements-Régions d'Outre-mer (DROM), les parts relatives de consommations de combustibles du trafic domestique vis-à-vis des consommations globales sont établies selon le bilan d'énergie réalisé au Citepa et après consultations des observatoires d'énergie locaux. Ces valeurs sont les suivantes :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Guadeloupe** | 100% | **Martinique** | 100% | **La Réunion** | 50% |
| **Guyane** | 50% | **Mayotte** | 31% | **Saint-Martin** | 100% |

En ce qui concerne l'année 2021 et 2022, une nouvelle activité de soutage à destination des pavillons français a débuté en Guadeloupe. Pour l'instant, étant donné que le Citepa ne dispose pas d'indication sur la destination de ce soutage (trafic domestique ou international), seuls respectivement 13 et 34 % de la consommation totale de FOL a été attribuée au trafic domestique en 2021 et 2022 afin de maintenir constante la consommation du trafic domestique par rapport à 2020 en attendant d'obtenir plus d'informations sur cette activité.

De même pour les Collectivités d'Outre-Mer (COM), les valeurs sont les suivantes :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Nouvelle-Calédonie** | 100% | **Saint-Barthélemy** | 100% | **Wallis-et-Futuna** | 50% |
| **Polynésie française (FOL)** | 0% | **Polynésie française (FOD)** | 100% | **Saint-Pierre-et-Miquelon** | 50% |

*Procédure bottom-up de discernement des ventes relatives au trafic maritime domestique et trafic maritime international pour la métropole*

En principe deux composantes contribuent aux émissions de la navigation maritime domestique :

- La part des « soutes maritimes françaises » (c'est-à-dire à destination des pavillons français) dont les consommations de carburant correspondent à des liaisons entre deux ports français (cabotage ou escale technique) ;
- La part des « soutes maritimes étrangères » (c'est-à-dire à destination des pavillons étrangers) dont les consommations de carburant correspondent à des liaisons entre deux ports français (cabotage ou escale technique).

En 2016, la CCNUCC, lors de la revue [22] de l'inventaire français des émissions de gaz à effet de serre, a demandé que le ratio de consommation domestique des soutes soit mis à jour (régulièrement). En 2023-2024, l'accès à des données AIS[23] (positionnement des navires) de l'année 2019 et des données de la Llyod's [1339] (caractéristiques techniques des navires), via le Cerema avec l'autorisation de la DGAMPA, a ouvert la possibilité d'un calcul ascendant très détaillé des consommations des différents carburants utilisés par les navires réalisant des trajets domestiques et internationaux à destination et en provenance de la France métropolitaine.

Le principe mis en œuvre est d'utiliser les données AIS des navires naviguant autour de la France métropolitaine et d'en extraire les trajets domestiques et internationaux à destination et/ou en provenance de France métropolitaine. Pour cela, un algorithme, basé sur l'algorithme du plus proche voisin, a été développé. Cet algorithme consiste à détecter les navires dans les ports français et étrangers, et ne sélectionner que les trajets métropole-métropole sans escale intermédiaire dans un port étranger.

Il y a deux sortes de trajectoires domestiques :

- Celle associée aux navires faisant exclusivement des trajets entre 2 ports français sans jamais aller ou venir d'un port étranger.
- Celle associée aux navires faisant un ou des trajets entre 2 ports français lors d'un trajet international en provenance ou à destination d'un port étranger.

Dans le cadre de l'inventaire national, seules les positions appartenant au premier point ci-dessus ont été gardées pour les calculs. Cette hypothèse a été prise pour être sûr que les navires avitaillent en France et non à l'étranger et pouvoir comparer les consommations calculées aux ventes des soutes.

En chaque position de ces trajets domestiques, pour chaque navire, en ayant récupéré ses caractéristiques (type, pavillon, puissance des moteurs, motorisation, carburant principal, etc.), il est possible d'appliquer une consommation spécifique (issue du 4ème rapport sur les émissions de GES de l'OMI [1221]) pour chaque moteur (principal, auxiliaire et chaudière) en fonction des facteurs de charge instantanés respectifs à chaque moteur pour calculer la consommation du carburant (Diesel Marine Léger – DML – , fioul lourd – FOL – et gaz naturel liquéfié – GNL) utilisé.

$$Consommation\ (type\ de\ navire, pavillon, motorisation, carburant, position\ ) = \sum_{moteur} Consommation\ spécifique(type\ de\ navire, carburant, motorisation) x\ puissance_{moteur} \\ x\ facteur\ de\ charge_{position,moteur}\ x\ \Delta t$$

Il est alors possible de sommer les consommations par carburant et par pavillon, et de les comparer aux ventes des soutes pour l'année 2019.

$$Consommation\ (pavillon, carburant) = \sum_{position} \sum_{type\ de\ navire} \sum_{moteur} Consommation\ (type\ de\ navire, pavillon, motorisation, carburant, position\ )$$

**Figure 51 : logigramme de détermination des ratios de ventes de soutes maritimes à destination des trafics domestiques et internationaux**

[22] arrfra_2016_to Party for comments.pdf: ID E.25. "*The ERT encourages France to conduct a new study to update the split between domestic and international navigation in the fuel sold in metropolitan France and in the overseas territories*"

[23] Automatic Identification System : Système d'Authentification Automatique. Données fournies par le Cerema avec accord de la DGAMPA

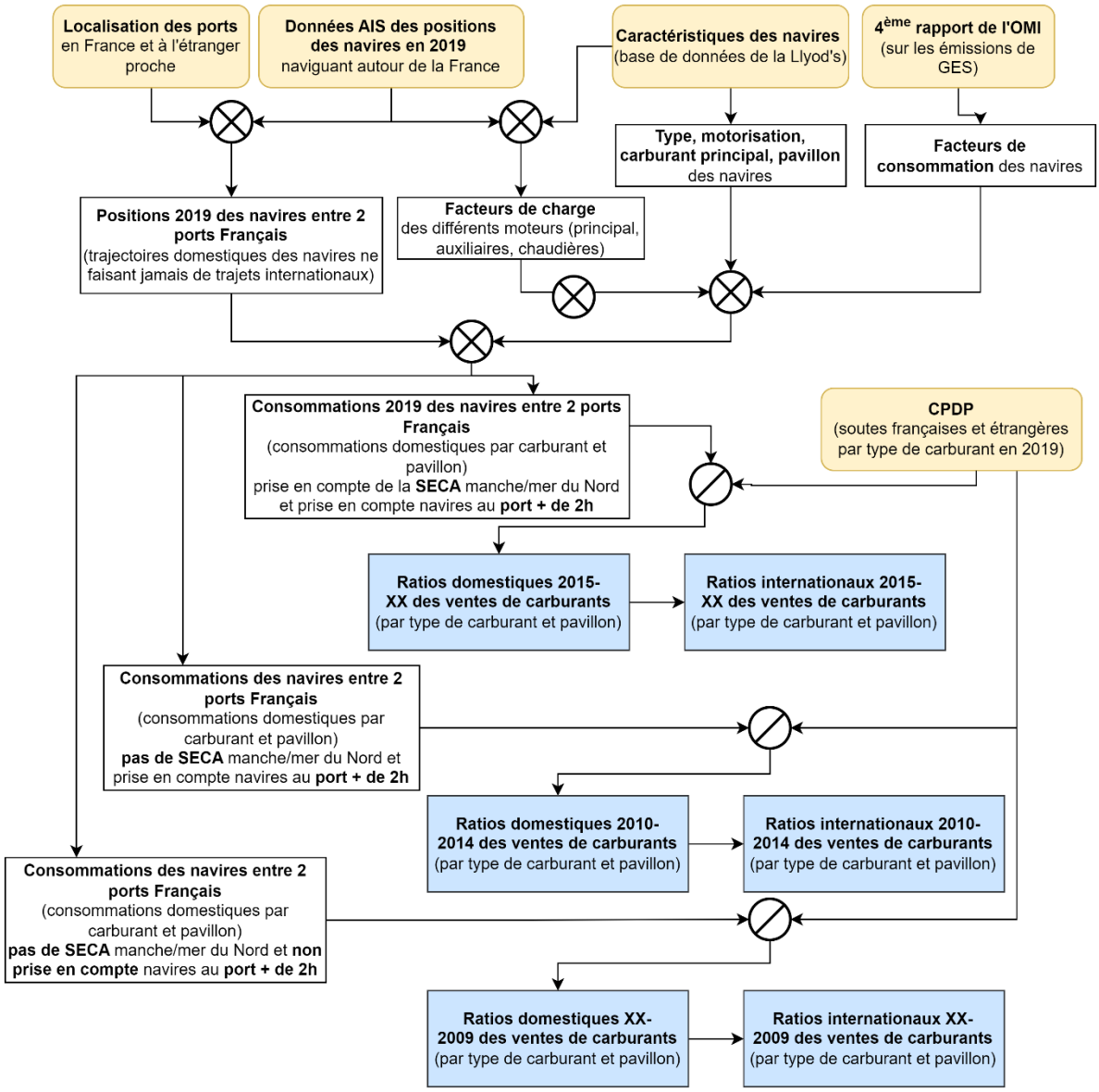



**Tableau 71 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord est une SECA.**

| Année | DML | | | FOL | | | LNG | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pavillon | | Total | Pavillon | | Total | Pavillon | Total |
| | Français | Étranger | | Français | Étranger | | Étranger | |
| Consommations (t) 2019 | 85 365 | 5 913 | 91 278 | 6 319 | 100 | 6 419 | 58 | 97 754 |
| Ventes (t) 2019 | 65 900 | 77 400 | 143 300 | 191 100 | 1 428 100 | 1 619 100 | - | 1 762 400 |
| Ratio 2019 consos / ventes | 130 % | 7,6 % | 64 % | 3,3 % | 0,01 % | 0,40 % | * | 5,6 % |

**Le GNL ne figurant pas dans les ventes de carburant en France, le ratio n'est pas calculé*

Même si pour les navires battant pavillon français, les consommations de DML sont plus importantes que les ventes de 30 %, il est considéré par la suite que la totalité des ventes est affectée à des trajets domestiques pour prendre en compte les incertitudes du calcul et le fait que des navires peuvent utiliser du FOL en utilisant des scrubbers dans la zone SECA (zone de contrôle des émissions de soufre) Manche/Mer du Nord. Le Tableau 43 récapitule les hypothèses prises pour attribuer une partie des ventes de carburants aux consommations lors des trajets domestiques et internationaux. Les ratios s'appliquent aux ventes pour les pavillons français et aux ventes pour les pavillons étrangers. Ces ratios s'appliquent à partir de l'année 2015, date à laquelle la Manche/Mer du Nord est passée en SECA. Dans cette zone, les navires doivent utiliser un carburant dont la teneur en soufre ne dépasse pas 0,1 %.

**Tableau 72 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années à partir de 2015**

| Carburant | DML | | FOL | | LNG | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pavillon | Français | Étranger | Français | Étranger | Français | Étranger |
| Ratio 2019 Consos/ventes | 130 % | 7,6 % | 3,3 % | 0,01 % | 0 % | 0 % |
| % des ventes pour le trafic domestique | 100 % (1) | 10 % (2) | 35 % (3) | 0 % (4) | 0 % | 0 % |
| % des ventes pour le trafic international | 0 % | 90 % | 65 % | 100 % | 0 % | 0 % |

(1) 100 % = 130 % - 30 %
(2) 10 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 7,6 %
(3) 35 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de (3,3 % du FOL + 30 % du DML)
(4) 0% = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 0,01%

Comme indiqué ci-dessus, la zone SECA Manche/Mer du Nord est devenue une SECA que le 1er janvier 2015. Donc les ratios ci-dessus ne sont pas applicable aux ventes de carburants avant cette date. Pour calculer de nouveaux ratios, et sans avoir accès aux mêmes données (AIS et Llyod's) pour une année avant 2015, il a été décidé de refaire le même type de calcul en considérant la zone comme n'étant pas une SECA. Cela signifie que les navires pouvant utiliser du fioul lourd le font.

**Tableau 73 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord n'est pas une SECA.**

| Année | DML | | | FOL | | | LNG | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pavillon | | Total | Pavillon | | Total | Pavillon | Total |
| | Français | Étranger | | Français | Étranger | | Étranger | |
| Consommations (t) 2019 | 80 013 | 5 829 | 85 842 | 11 914 | 186 | 12 100 | 58 | 97 942 |
| Ventes (t) 2019 | 65 900 | 77 400 | 143 300 | 191 100 | 1 428 100 | 1 619 100 | - | 1 762 400 |
| Ratio 2019 consos / ventes | 122 % | 7,6 % | 60 % | 6,2 % | 0,01 % | 0,75 % | * | 5,6 % |

**Le GNL ne figurant pas dans les ventes de carburant en France, le ratio n'est pas calculé*

Le Tableau 45 récapitule les hypothèses prises pour attribuer une partie des ventes de carburants aux consommations lors des trajets domestiques pour les années entre 2010 et 2014.

**Tableau 74 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années de 2010 à 2014**

| Carburant | DML | | FOL | | LNG | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pavillon | Français | Étranger | Français | Étranger | Français | Étranger |
| % des ventes pour le trafic domestique | 90 % (1) | 10 % (2) | 35 % (3) | 0 % (4) | 0 % | 0 % |
| % des ventes pour le trafic international | 10 % | 90 % | 65 % | 100 % | 0 % | 0 % |

(1) 90 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de (122 % - 30 %) (on considère que les 30% que l'on a enlevé dans le premier calcul font partie de l'incertitude)
(2) 10 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 7,6 %
(3) 35 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de (6,2 % du FOL + 30 % du DML)
(4) 0% = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 0,01%

Les données du Tableau 45 ne sont applicables qu'entre 2010 et 2014, car il y a une directive européenne [1340] qui impose aux navires d'utiliser un carburant avec une basse teneur en soufre lorsqu'ils restent plus de 2 h à quai dans les ports à partir du 1er janvier 2010. Donc les ratios précédents ne sont pas applicables aux ventes de carburants avant cette date. Pour calculer de nouveaux ratios, et sans avoir accès aux mêmes données (AIS et Llyod's) pour une année avant 2010, il a été décidé de refaire le même type de calcul en considérant la zone Manche/Mer du Nord comme n'étant pas une SECA, et en considérant que les navires ne changent pas de carburant quand ils sont à quai plus de 2 h. Cela signifie que les navires pouvant utiliser du fioul lourd le font dans ces 2 cas.

**Tableau 75 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord n'est pas une SECA, que les navires restant plus de 2 h à quai ne changent pas de carburant.**

| Année | DML | | | FOL | | | LNG | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pavillon | | Total | Pavillon | | Total | Pavillon | Total |
| | Français | Étranger | | Français | Étranger | | Étranger | |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Consommations (t) 2019 | 76 465 | 4 749 | 81 214 | 15 463 | 1 269 | 16 732 | 58 | 97 945 |
| Ventes (t) 2019 | 65 900 | 77 400 | 143 300 | 191 100 | 1 428 100 | 1 619 100 | - | 1 762 400 |
| Ratio 2019 consos / ventes | 116% | 6,1% | 57% | 8,1% | 0,09% | 1,0% | * | 5,6% |

**Le GNL ne figurant pas dans les ventes de carburant en France, le ratio n'est pas calculé*

Le **Tableau 47** récapitule les hypothèses prises pour attribuer une partie des ventes de carburants aux consommations lors des trajets domestiques pour les années avant 2010.

**Tableau 76 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années avant 2010**

| Carburant | DML | | FOL | | LNG | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pavillon | Français | Étranger | Français | Étranger | Français | Étranger |
| % des ventes pour le trafic domestique | 85 % (1) | 10 % (2) | 40 % (3) | 0 % (4) | 0 % | 0 % |
| % des ventes pour le trafic international | 15 % | 90 % | 60 % | 100 % | 0 % | 0 % |

(1) 85 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de (116 % - 30 %) (on considère que les 30% que l'on a enlevé dans le premier calcul font partie de l'incertitude)
(2) 10 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche 6,1 %
(3) 40 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de (8,1 % du FOL + 30 % du DML)
(4) 0% = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 0,09%

*Procédure bottom-up de discernement des consommations d'huiles relatives au trafic maritime domestique et trafic maritime international pour la métropole*

Les données de consommations d'huile dans le secteur maritime sont extraites du bilan annuel du CPDP [14]. L'huile utilisée dans les moteurs a pour rôle de lubrifier et refroidir les différents organes du moteur et de la transmission. Cependant, tout (moteurs 2-temps) ou partie (moteurs 4-temps) de cette huile pénètre dans la chambre de combustion et brûle, générant ainsi des émissions.

La part de motorisations fonctionnant selon un cycle deux ou quatre temps est estimée à partir d'un croisement entre :

- Le pourcentage de puissance installée des moteurs principaux par type de moteur, catégorie de navire et carburant [1280] Table 3-10 ;
- De la répartition de la flotte mondiale par type de navire [1221] Table 7 ;

Les moteurs de vitesse lente (< 300 tr/min) sont considérés comme 2-temps et les moteurs de vitesse moyenne (vitesse comprise entre 300 et 900 tr/min) et rapide (> 900 tr/min) comme 4-temps. Ces hypothèses permettent d'extraire les ratios moyens de puissance entre les moteurs 2-temps et 4-temps par type de carburant (cf. tableau ci-dessous). Ces ratios sont considérés constant en fonction de l'année.

**Figure 52 : ratios moyens de puissance entre les moteurs 2 temps et 4 temps par type de carburant**

| | DML | FOL |
|---|---|---|
| 2-temps | 37 % | 86 % |
| 4-temps | 63 % | 14 % |

Moteurs 2-temps :

D'après [1278], la consommation d'huile est en moyenne estimée à 1,2 g/kWh, et d'après [1280], la consommation de carburant à 190 g/kWh, soit un ratio de 0,63 % gramme d'huile brulée par gramme de carburant.

Ainsi, la consommation d'huile 2-temps est estimée selon l'équation ci-dessous :

$$C_{H_{2tps}}(i) = C_{carb_i}(i) \times Ratio_{2tps}(i) \times \frac{SFOC_H}{SFOC_c}$$

Avec :

$C_{H_{2tps}}$ : La consommation d'huile associée aux moteurs deux temps

$i$ : le type de carburant (FOL ou DML)

$Ratio_{2tps}$ : La part de motorisations 2-temps (37 % pour le DML et 86 % pour le FOL)

$\frac{SFOC_H}{SFOC_c}$ : La quantité d'huile consommée par gramme de carburant associée aux motorisation 2-temps soit 0,63 %.

Les émissions relatives aux huiles des moteurs 2-temps sont rapportés dans le secteur du transport maritime (CRT 1.A.3.d),

Moteurs 4-temps :

Afin de rester cohérent avec les ventes de lubrifiant du maritime, le calcul bottom-up de la consommation d'huile des moteurs est réalisé seulement pour les motorisations 2-temps. Le solde entre les ventes et la consommation d'huile 2-temps est attribué à la consommation d'huile 4-temps selon l'hypothèse que 20 % de l'huile du carter brule dans la chambre de combustion du moteur. Cette hypothèse est conforme au lignes directrices 2006 [1282].

Les émissions relatives aux huiles des moteurs 4-temps sont rapportés dans le secteur non énergétique (CRT-2.D.1).

*Voie navigable & plaisance*

Deux sous-secteurs se distinguent dans ce chapitre : les bateaux de plaisance (bateaux équipés de moteurs auxiliaires, bateaux à moteurs pour l'usage professionnel, bateaux de plaisance maritimes et fluviaux) et les bateaux dédiés au transport de marchandises de la navigation intérieure (trafic fluvial). Les bateaux de pêche ne sont pas inclus ici, mais dans le secteur pêche (cf. OMINEA_1A4c_fishing).

L'estimation des consommations et les facteurs d'émission utilisés étant différents, ces deux activités sont considérées séparément :

- **Les consommations de carburant des bateaux de plaisance.** Les consommations sont estimées à partir des données du bilan de la circulation [60, 1346] qui fournit les consommations attribuées à la plaisance et autres engins. Le parc d'engins à motorisation essence est reparti entre 25 % de moteurs 2 temps et 75 % de moteurs 4 temps [183].
    - Gazole : Les consommations de gazole dues aux trafics de plaisance sont calculées en déduisant du total donné par le bilan de la circulation [60, 1346] (ligne divers), la consommation de gazole attribué aux engins du secteur résidentiel/tertiaire et à la consommation de gazole du secteur ferroviaire. A noter que le secteur ferroviaire n'est inclus dans ces statistiques que sur la période 2006-2010 car jusqu'en 2005 le ferroviaire n'utilisait que du fioul domestique (FOD) et, à partir de 2011, du gazole non-routier (GNR), ces deux combustibles n'entrant pas dans le champ « gazole routier » du bilan de la circulation.
    - Essence : Les consommations d'essence dues aux trafics de plaisance sont calculées en déduisant du total donné par le bilan de la circulation [60, 1346] (ligne divers), les consommations d'essence attribuées aux engins des secteurs résidentiel/tertiaire et agriculture/sylviculture. La consommation d'huile 2 temps mélangée et brulée avec l'essence est calculée en prenant en compte l'hypothèse d'un mélange à hauteur de 3 % en volume.
- **Les consommations de carburant du transport fluvial marchandise.** Les activités liées au trafic fluvial sont issues des données du transport de marchandises [670] et du bilan annuel des transports [1141]. Elles sont fournies en tonnes x kilomètres attribuées d'une part au transport domestique et d'autre part au transport international. Les consommations sont ainsi calculées par la multiplication de ces données d'activité par l'intensité énergétique. Cette dernière donnée est exprimée en tonne de carburant consommé par tonnes x kilomètres de marchandise transportée. Ceci est obtenu en faisant évoluer les ratios entre les consommations de carburant en tonnes fournies jusqu'à l'année 1998 par le CPDP [14] et les données de trafic (en tonnes x kilomètres) du transport de marchandises [670]. Les engins mis en œuvre sont supposés utiliser uniquement comme carburant :
    - Fioul domestique (FOD) : Le FOD est utilisé jusqu'en septembre 2011 (l'hypothèse prise en compte est que deux tiers de la consommation totale en 2011 correspondent à la consommation de FOD) ;
    - Gazole non routier (GNR) : Le GNR est utilisé à partir de septembre 2011 (l'hypothèse prise en compte est qu'un tiers de la consommation totale en 2011 correspond à la consommation de GNR). Avec le passage au GNR, l'incorporation d'agro-carburant est donc considérée dans l'activité de ce sous-secteur.

**Figure 53 : Emissions de gaz à effet de serre du transport maritime domestique (périmètre France UE)**

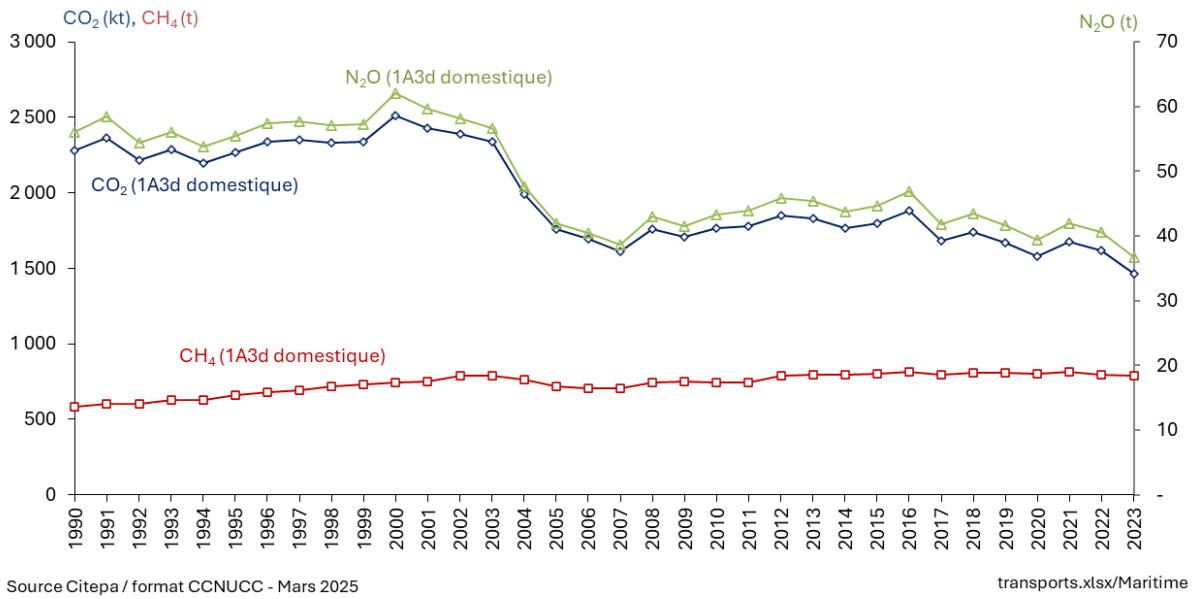
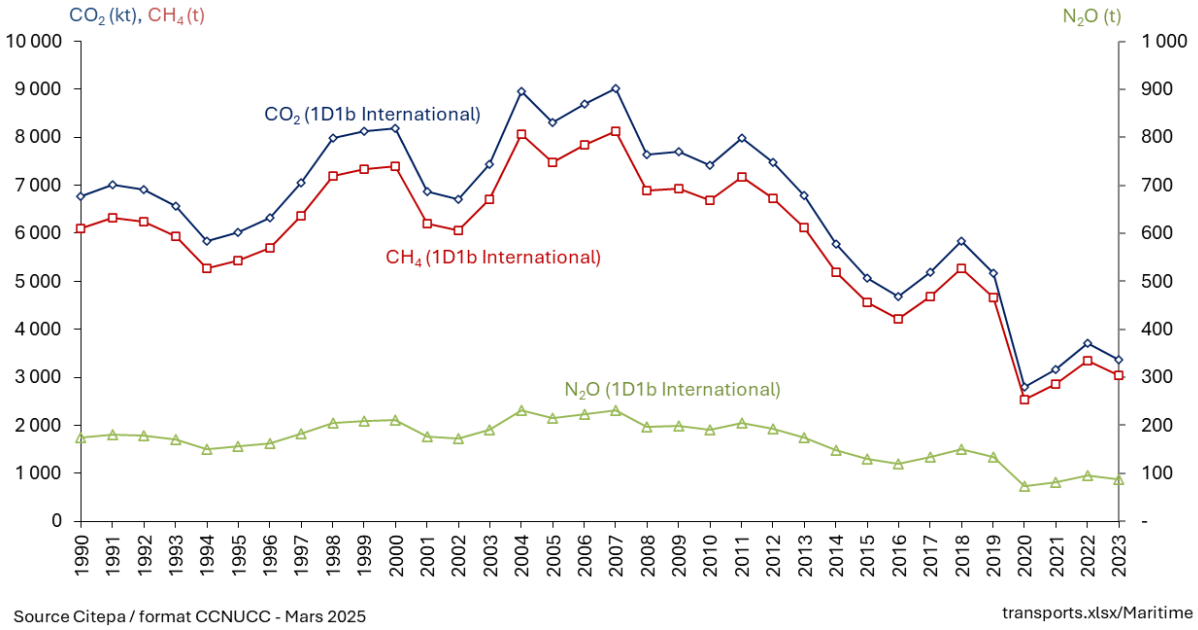



**Figure 54 : Emissions de gaz à effet de serre du transport maritime international (hors total)**




Les consommations du trafic maritime domestique (CRT 1.A.3.d) et du trafic international (CRT 1.D) ont diminué depuis 1990 à cause du contexte économique et la baisse depuis 2007 est liée à la concurrence des ports européens.

En 2020, la crise sanitaire du Covid-19 a eu une influence très forte sur le trafic, les consommations et les émissions, notamment à l'international. Après une reprise de l'activité à l'international en 2021 et 2022 suite à la forte baisse liée au Covid-19, les consommations reprennent la tendance pré crise sanitaire..

**Figure 55 : Consommations d'énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime domestique et international**

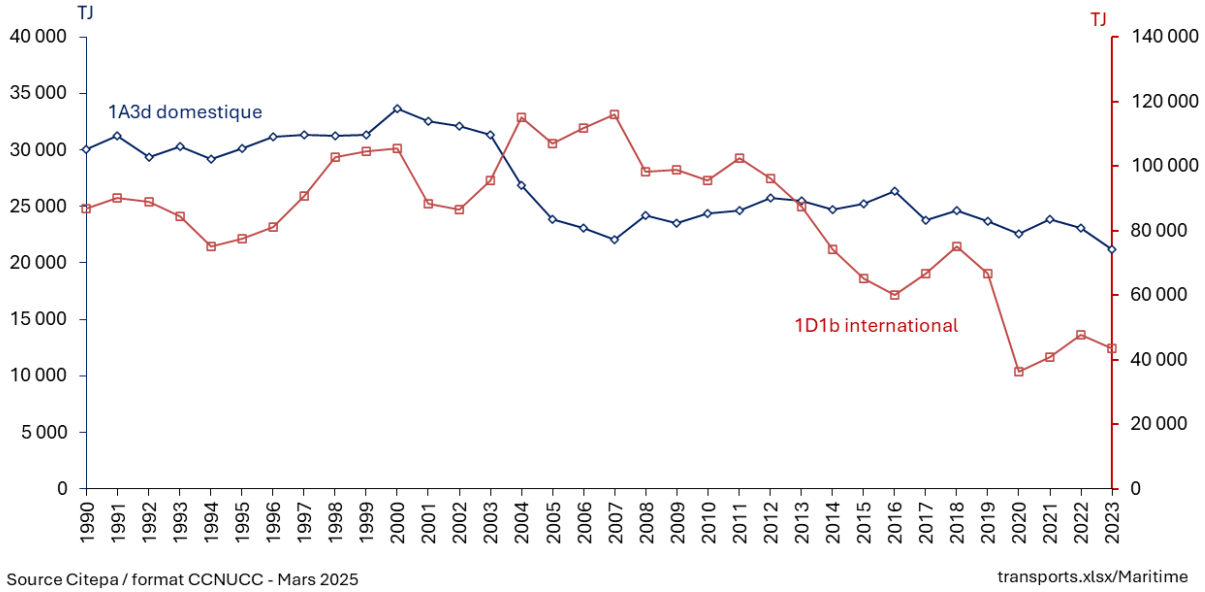



**Figure 56 : Consommations des différentes énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime domestique (1.A.3.d.)**

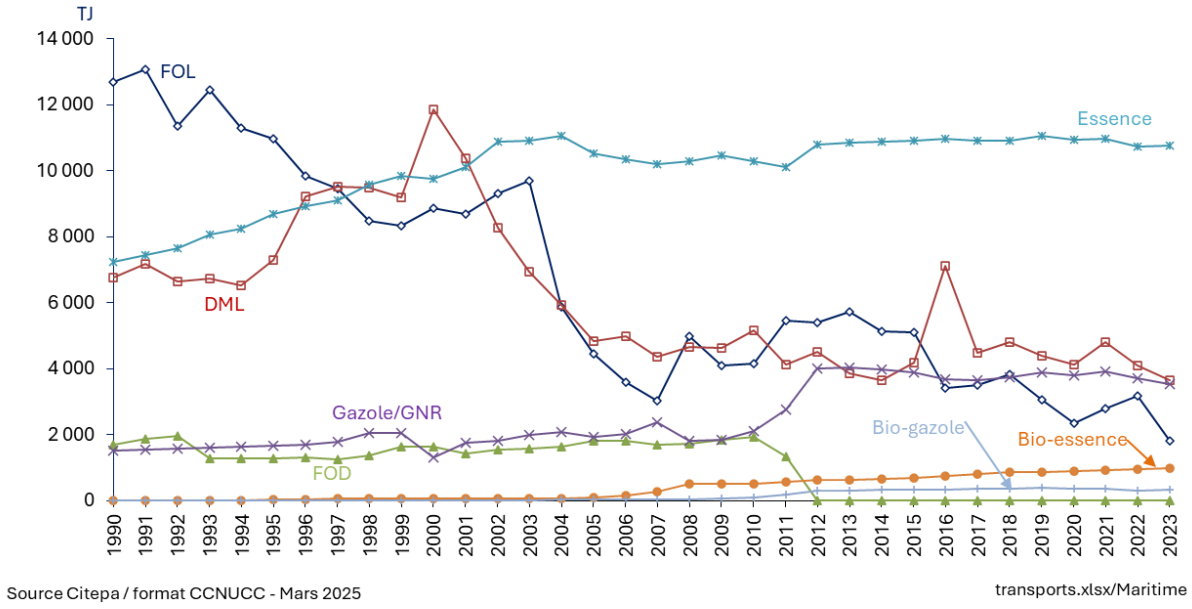



**Figure 57 : Consommations des différentes énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime international (1.D.)**

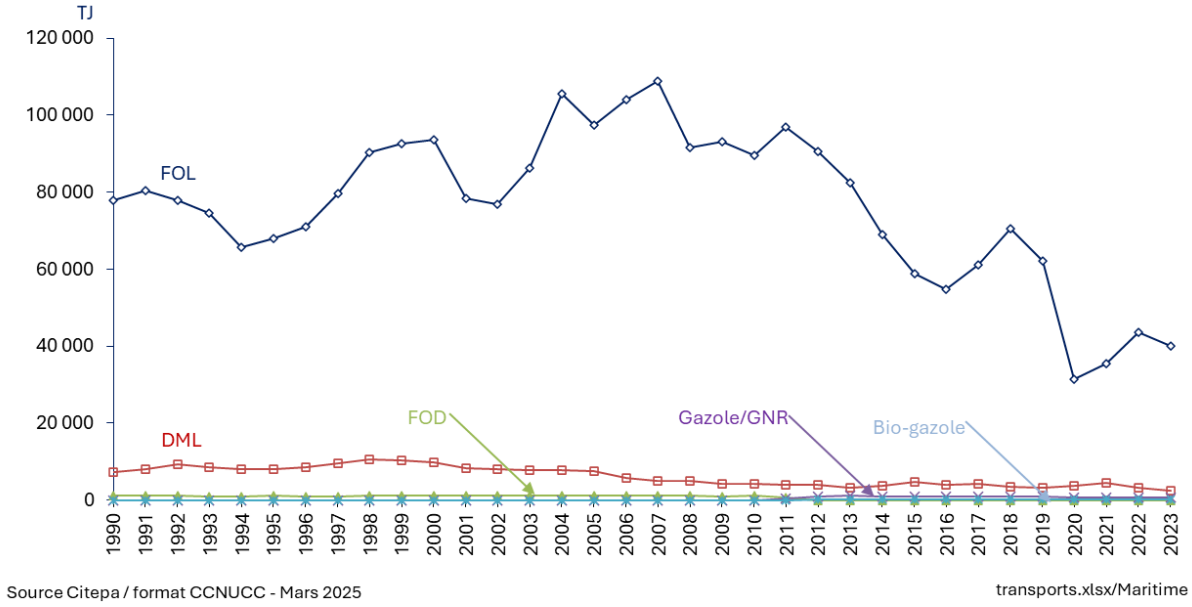
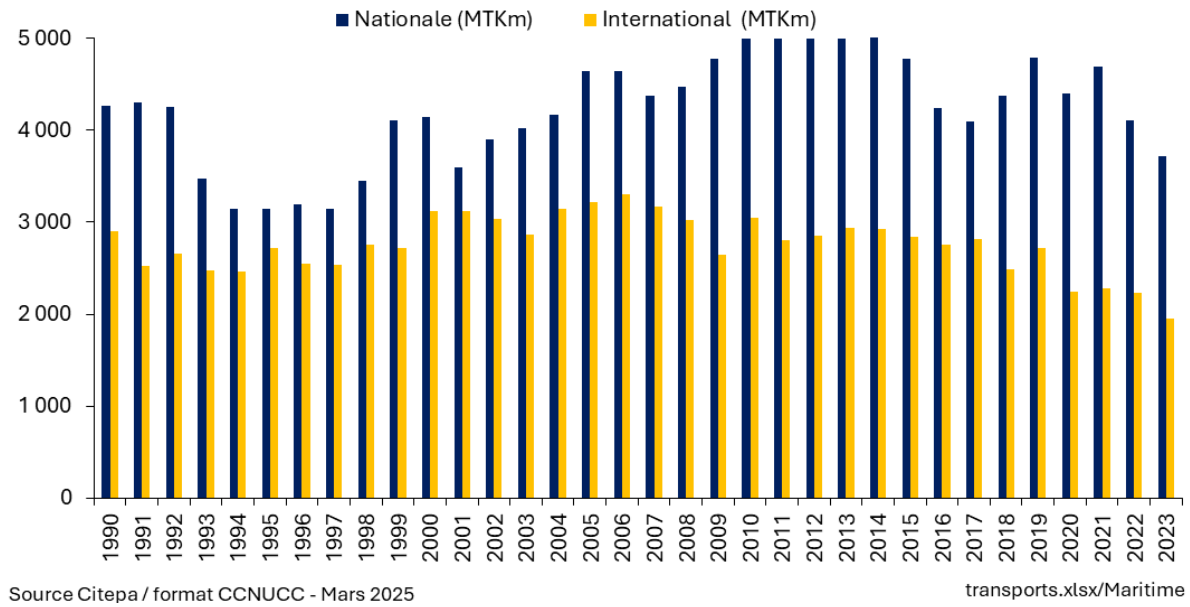



**Figure 58 : Répartition des tonnesxkilomètres du transport fluvial de marchandises entre la partie domestique et internationale**




*Les activités militaires sont exclues (traitées en 1.A.5.) et la pêche est traitée dans le CRT 1.A.4.c.*

### 3.2.7.1.5 Autres transports (1.A.3.e.)

Stations de compression du réseau de transport et de distribution du gaz (1.A.3.e.i)

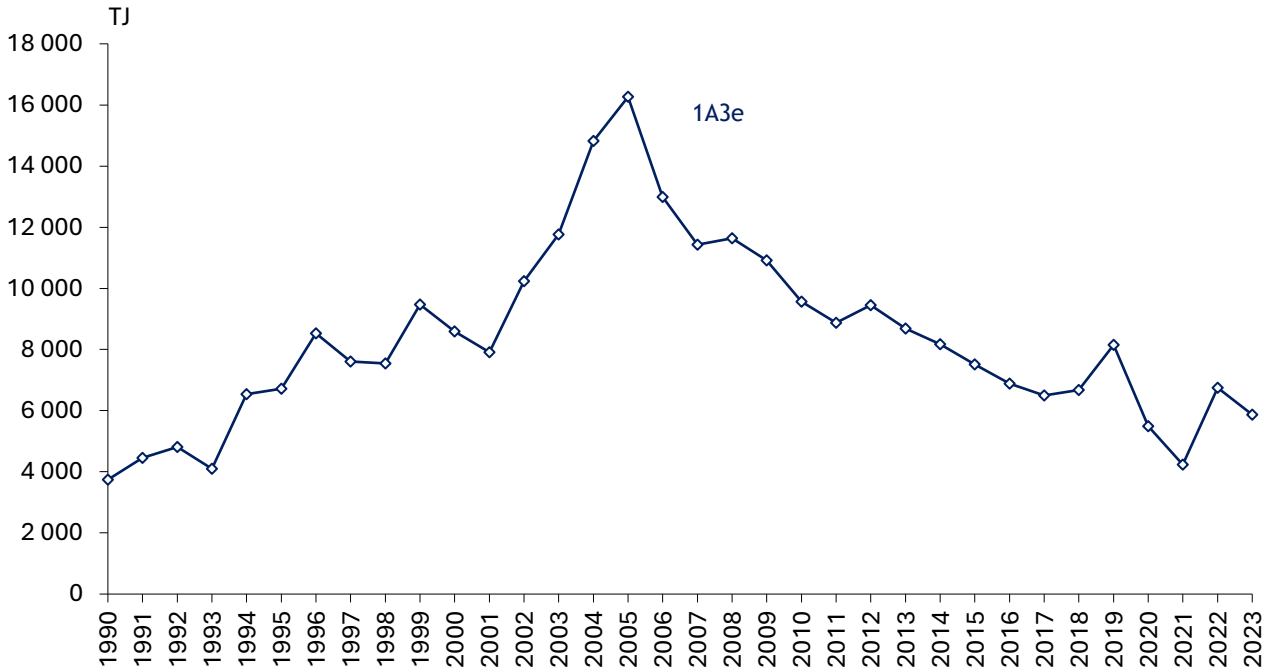
En 2023, cette source n'est pas une catégorie clé, ni en niveau ni en tendance.

De l'ordre d'une quarantaine de stations de compression sont dénombrées. Longtemps, les motocompresseurs ont été nettement privilégiés devant les électrocompresseurs et les turbocompresseurs. Les stations de compression ont fait l'objet d'un programme de rénovation important à partir de 2006 dans lequel la mise en place d'électrocompresseurs a été privilégiée.

Ce secteur concerne la combustion de gaz naturel par les stations de compression du réseau de transport et de distribution du gaz naturel en France métropolitaine.

En 2020, la crise sanitaire du Covid-19 a eu une influence très forte sur les consommations et les émissions. Après un rebond en 2022 se rapprochant des niveaux pré-covid, celles-ci enregistrent une tendance à la baisse en 2023.

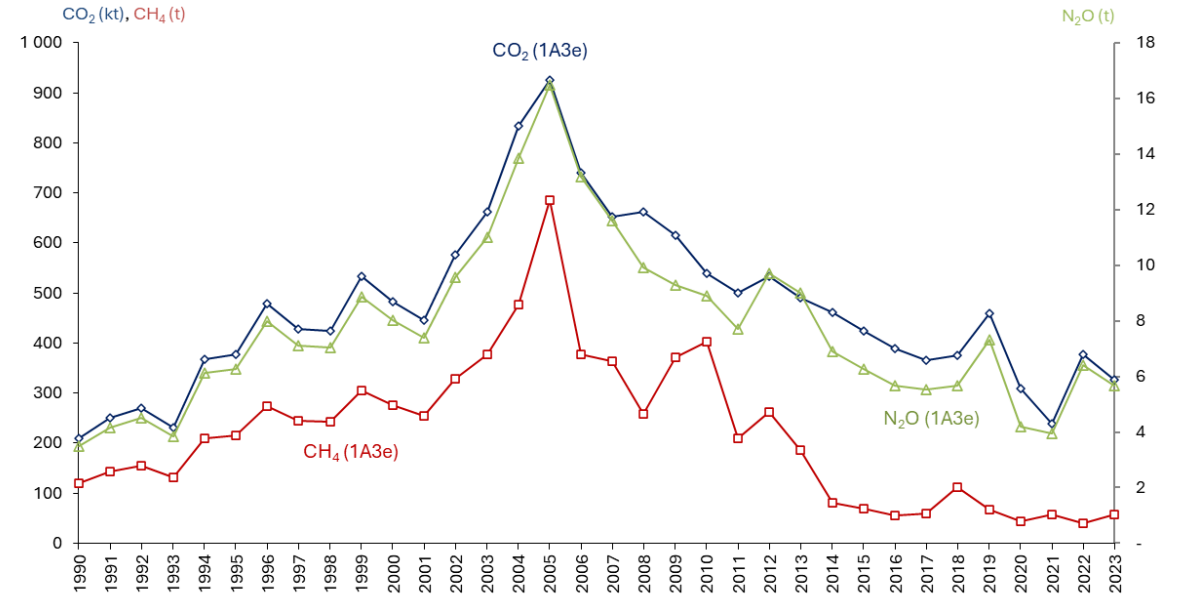
**Figure 59 : Consommations de gaz naturel dans les stations de compressions en France métropolitaine et en Outre-mer**




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025

transports.xlsx/Stat. Comp.

**Figure 60 : Emissions de gaz à effet de serre émises par les stations de compression (périmètre France UE)**




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025

transports.xlsx/Stat. Comp.

Autres transports (1.A.3.e.ii.)

En 2023, cette source n'est pas une catégorie clé, ni en niveau ni en tendance. Cette section traite des émissions des machines mobiles et autres moyens de transport hors transport et distribution de gaz naturel (1.A.3.e.i). Cette section concerne les émissions liées à la combustion de carburants dans le transport terrestre des engins des aéroports et des ports, ainsi que les autres activités et moyens de transports non compris en principe dans les secteurs commercial (1.A.4.a.), résidentiel (1.A.4.b.), agricole et forestier (1.A.4.c.), industriel (1.A.2.) ou bien encore militaire (1.A.5.).

Les ventes de carburants sont intégrées aux bilans énergétiques français (questionnaires AIE). Cependant, le manque d'information et de désagrégation des consommations de carburants des véhicules et engins des aéroports et ports ne nous permet pas d'identifier et quantifier spécifiquement ces consommations et ces émissions. Ces activités de transport et de manutention sur les plateformes aéroportuaires et dans les ports font partie des activités commerciales/tertiaires. Les consommations d'énergie associées sont donc dans le bilan de l'énergie du commercial/tertiaire. Les émissions du « 1A3eii/Autres transports » sont incluses ailleurs, dans le secteur commercial/tertiaire (1.A.4.a.).

### 3.2.7.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/methodologie-de-linventaire-ominea/

#### 3.2.7.2.1 Transport aérien (1.A.3.a.)

La méthode appliquée est de rang GIEC 3a.

L'activité relative à la combustion est donc déterminée pour les divers éléments fins (par type de couple avion x moteur, phase, liaison, etc.). Face au volume important de données (le seul fichier de trafic des vols commerciaux par liaison type comporte plus d'un million d'enregistrements par année), et aux divers paramètres en relation, le traitement des données est réalisé au moyen d'une application informatique développée conjointement avec la DGAC, qui constitue un outil commun pour les inventaires d'émissions nationaux et divers rapportages de la DGAC.

Les émissions sont déterminées chaque année aussi bien pour les vols commerciaux et non commerciaux de manière à renseigner les différents sous-ensembles requis par le rapportage des inventaires. Des résultats individualisés par aéroport peuvent également être déduits pour des applications locales. De manière analogue, un traitement approprié permet de déterminer au sein du trafic international, la fraction correspondant aux liaisons intra UE.

Les émissions non liées à la combustion (abrasion des pneus, des freins, de la piste) sont déterminées en fonction du nombre de cycles LTO au moyen de facteurs d'émission.

***Emissions de $CO_2$***

Le facteur d'émission retenu est de 71,8 kg $CO_2$/GJ (cf. partie générale combustion), pour le kérosène [1142] et 70,5 kg $CO_2$/GJ pour l'essence aviation (AvGas) [682]. Les émissions sont calculées à partir des consommations d'énergie déterminées pour l'entité considérée (type de trafic, d'aéronef, d'aéroport, etc.).

Les émissions liées à l'incorporation de bio-kérosène sont calculées à partir du facteur d'émission de 70,70 kg $CO_2$/GJ [1273, 1274] (cf. partie générale combustion dans le paragraphe sur les biocarburants) et sont rapportées dans la ligne biomasse.

***Emissions de $CH_4$***

Selon les hypothèses des lignes directrices du GIEC [903], il est supposé que les émissions de $CH_4$ n'aient lieu que pendant les phases LTO et sont estimées à 10 % des émissions des COV totaux.

***Emissions de $N_2O$***

Un facteur d'émission de $N_2O$ moyen est utilisé : 2,0 g/GJ pour le LTO et pour la croisière [903], quel que soit le carburant.

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Figure 61 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du secteur aérien**

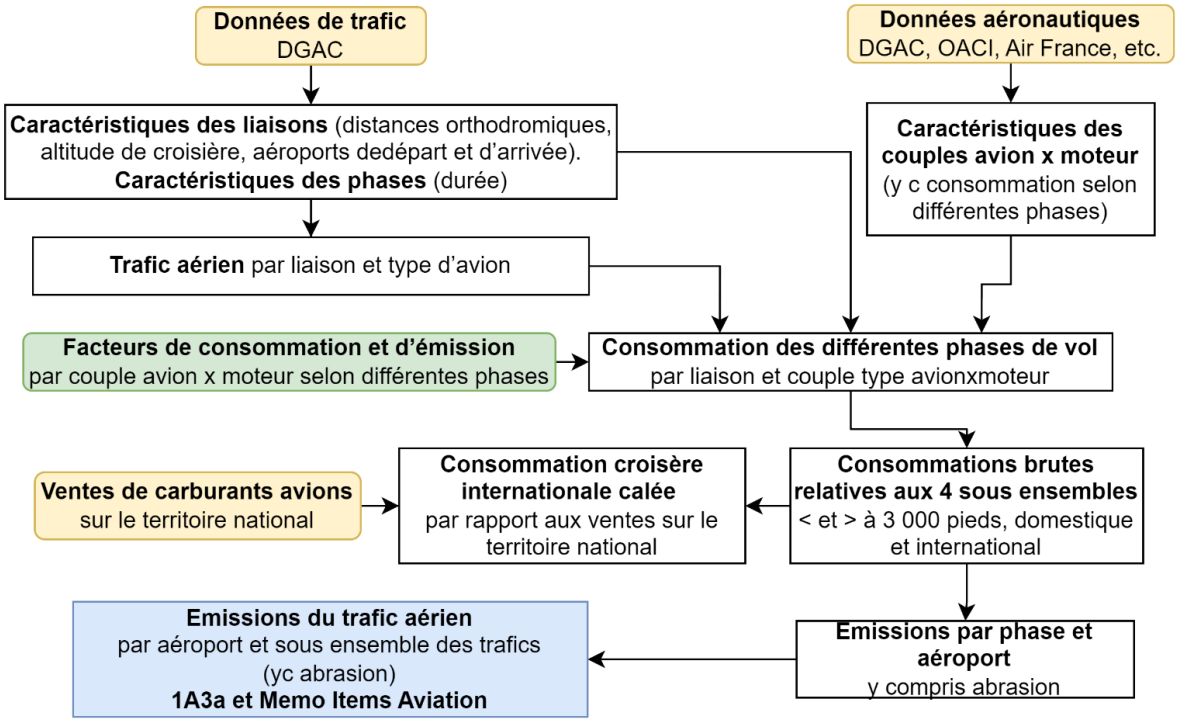



**Figure 62 : Evolutions des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre du transport aérien domestique (périmètre France UE)**

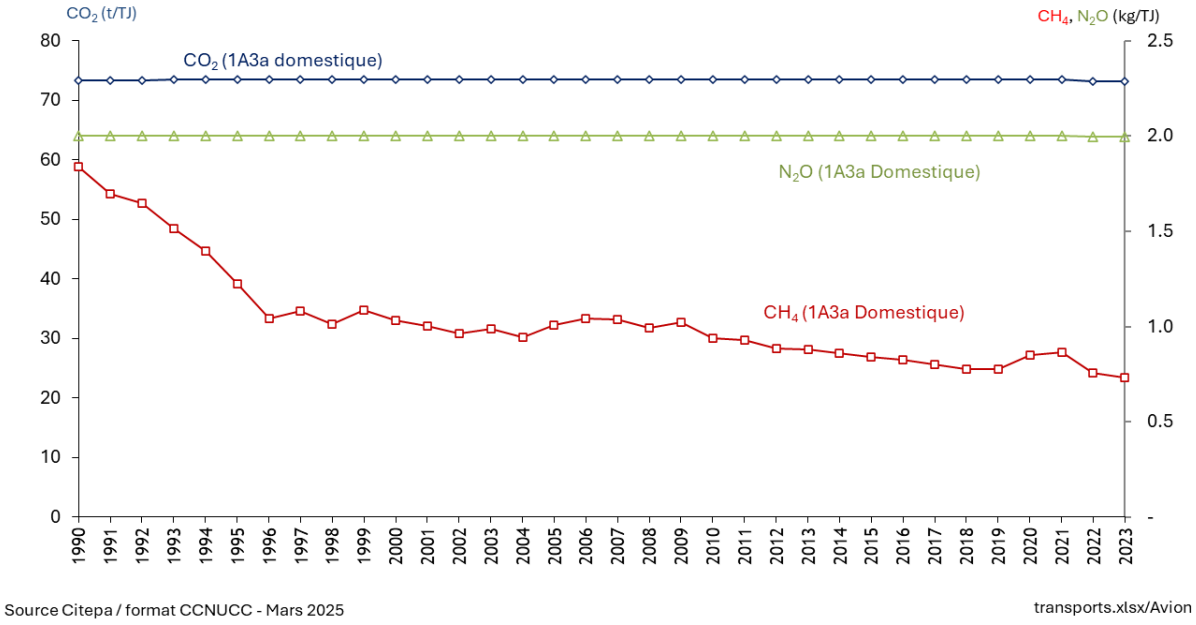
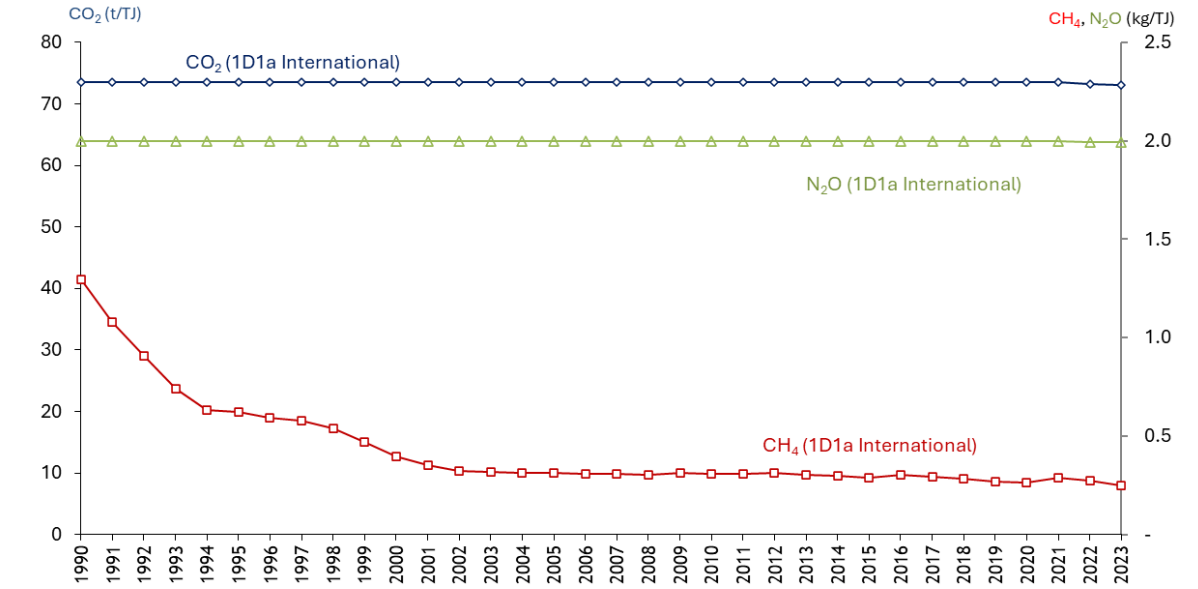



**Figure 63 : Evolutions des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre du transport aérien international (hors total)**




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 transports.xlsx/Avion

### 3.2.7.2.2 Transport routier (1.A.3.b.)

La méthode appliquée est :

$CO_2$ :

Méthode de rang 3 (modèle d'émissions COPERT), avec des facteurs d'émission de $CO_2$ nationaux mesurés en 2017 pour le gazole et l'essence. Un facteur d'émission spécifique national est utilisé pour le $CO_2$ du GNV. Pour le GPLc, il s'agit du facteur d'émission par défaut de COPERT.

$CH_4$, $N_2O$ :

Méthode de rang 3 (modèle d'émissions COPERT), avec des facteurs d'émission prenant en compte les conditions de trafic national.

***Introduction***

D'ordinaire, les instances internationales classent dans des catégories différentes les émissions liées à l'utilisation de l'énergie et les émissions liées aux autres causes. Toutefois, dans le cas du transport routier, elles dérogent en partie à cette règle et classent dans la même catégorie **1.A.3.b** toutes les émissions dues au transport routier à l'exception :

- des émissions des fluides frigorigènes rapportés dans la catégorie CRT 2.F.1,
- des émissions de $CO_2$ liées à l'utilisation de l'urée dans les systèmes de réduction catalytique sélective des NOx (*Selective Catalyst Reduction*, SCR), rapporté dans la catégorie CRT 2.D.3.4 « autres usages non énergétiques de produits »,
- des émissions de $CO_2$ liées à la combustion des huiles dans les moteurs 4 temps (usage non énergétique), rapportées dans la catégorie CRT 2.D.1 (les autres polluants sont rapportés en NFR 2.G).

*Les données pour le calcul des émissions du transport routier*

L'estimation des émissions des véhicules routiers liées à la combustion/évaporation fait appel à de très nombreux paramètres relatifs :

- **Au parc de véhicules** 🚗🚚🛵 :
  - Type de véhicule : véhicule particulier (VP), véhicule utilitaire léger (VUL), poids lourd (PL), bus et cars, deux-roues,
  - Type de motorisation / carburant : essence, Diesel, bicarburation, GPLc, GNV, etc.,
  - Catégorie du véhicule en fonction de sa taille, masse ou cylindrée,

- Age du véhicule et conformité aux normes environnementales notamment EURO (donc de la présence d'équipements tels que pot catalytique, filtre à particules, injection, type de réservoir, climatisation),

- **A l'utilisation du véhicule** :
  - Répartition du trafic selon le type de voie et les comportements routier (autoroute, route, urbain),
  - Vitesse moyenne,
  - Pente de la route,
  - Taux de chargement des véhicules lourds,
  - Distance annuelle parcourue,
  - Longueur moyenne du trajet,

- **A divers autres** :
  - Température ambiante,
  - Humidité relative,
  - Bilan des ventes de carburants, y compris la part d'agro-carburants.

L'estimation des émissions des véhicules routiers liées à l'abrasion et aux fluides frigorigènes fait appel aux paramètres suivants :

- Les émissions de particules, de métaux lourds et de HAP provenant de l'usure de divers organes du véhicule (frein et pneumatiques), d'une part, et provenant de l'érosion du revêtement routier, d'autre part, sont basées sur les parcs dynamiques (i.e. trafic) issus du modèle COPERT [1134], des vitesses par réseau, du taux de chargement et du nombre d'essieux des véhicules lourds et d'une étude du WBCSD [499].
- Les émissions de HFC utilisées comme fluide frigorigène pour la climatisation des véhicules sont déterminées à partir des travaux réalisés par le Citepa (cf. OMINEA_2F1_refrigeration air conditioning).

*Les étapes clés pour les calculs des émissions*

Le calcul des émissions se fait en trois étapes clés :

**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ;
Etape 2 : Calcul des données nécessaires à la mise en œuvre de la méthodologie COPERT ;
**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

Etape 1 : Calcul du parc statique (nombre) des véhicules immatriculés en France avec le modèle OPALE

Le modèle OPALE (Ordonnancement du Parc Automobile en Liaison avec les Emissions) été développé par le Citepa pour établir un parc statique détaillé des véhicules immatriculés en France à partir des données statistiques disponibles [54, 55, 56, 57, 58, 60, 311, 387, 511, 1141, 1156, 1289, 1291, 1346] qui soit compatible avec la méthodologie COPERT (COmputer Programme to Calculate Emissions from Road Traffic) [1134].

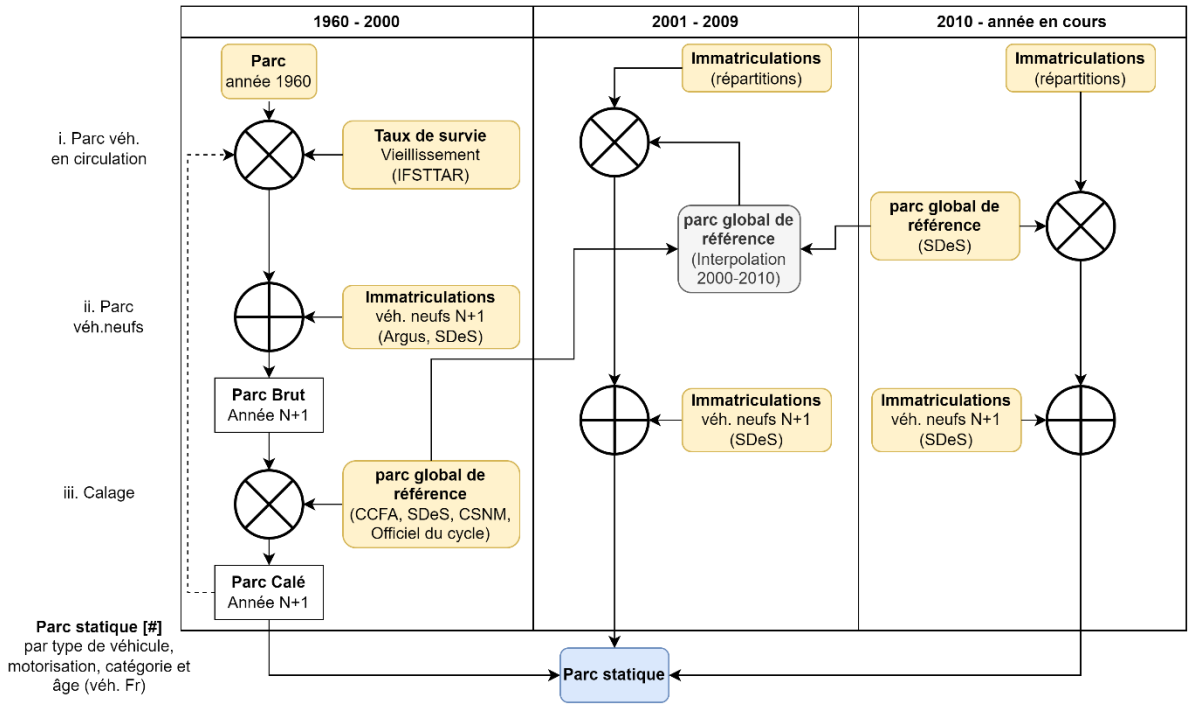
Les données de parc statique disponibles dans les statistiques ne détaillent pas la structure plus fine nécessaire au calcul des émissions (type de véhicule, type de motorisation, cylindrée, rattachement aux normes d'émissions). A partir d'un parc statique détaillé, estimé pour l'année 1960, le calcul de parc dans OPALE (cf. Figure 64) se fait ainsi en 3 étapes, pour chaque année d'évaluation :

i. **Calcul du parc des véhicules en circulation** à partir du parc global de référence (donnée d'entrée) :
   a. Pour les années 1961 à 2000 (1960 à l'année en cours pour les 2 roues) : Application de taux de survie en fonction de l'âge des véhicules à la structure fine du parc de l'année précédente. Ces taux, calculés à partir du parc global de référence ou issus de la littérature, permettent d'enlever un certain nombre de véhicules en vieillissant le parc.
   b. Pour les années 2001 à l'année en cours (hors 2 roues) : Les données du parc global de référence comportent un détail plus fin (incluant la motorisation). Le parc est alors désagrégé au prorata des données historiques d'immatriculations des véhicules neufs (type de véhicule, type de motorisation, cylindrée/PTAC).

ii. **Calcul du parc des véhicules neufs** : Ajout, au parc précédent, du parc de véhicules neufs basé sur les données statistiques d'immatriculations des véhicules neufs(issues de données statistiques( [55, 56, 1289]).

iii. **Calage** : Pour les années 1961 à 2000 (1960 à l'année en cours pour les 2 roues), le parc résultant est ajusté afin de correspondre au parc global de référence issu de données statistiques ([54, 551, 1156, 1291]).

**Figure 64 : Logigramme du processus de calcul du parc de véhicules français avec le modèle OPALE.**




Hypothèse est faite que 30 % des immatriculations dans l'année qui précèdent la mise en place d'une norme sont conformes à ladite norme [547].

Par principe de calcul, le modèle OPALE estime un parc statique au 31 décembre de chaque année et pour chaque classe (type de véhicules, motorisation, cylindrée/PTAC, norme). Ce principe méthodologique est appliqué tel que détaillé ci-après.

- Calcul du parc statique pour les VP, VUL et PL (y compris bus et car) immatriculés en France

*Le parc global de référence*

Pour la période 1960-2000, le parc global de référence retenu est celui établi par le CCFA [54]. Pour les VP et les VUL, ce parc était, de l'avis de nombreux experts, le plus représentatif avant exploitation des données du contrôle technique, car prenant en compte les véhicules en fin de vie retirés du parc grâce aux données des vignettes fiscales (obligatoires pour circuler jusqu'en 2000). Ces données détaillent le parc par âge en fonction du type de véhicule. Pour les PL (y compris les bus et cars), le parc est détaillé tel que présenté dans l'encadré à la fin de cette section.

Pour la période depuis 2010, le parc global de référence retenu est celui établi par le SDES [1156]. Il est issu de l'appariement du fichier des immatriculations et du fichier des contrôles techniques. Les contrôles techniques ont lieu tous les deux ans à partir de la 4ème année pour les VP et VUL, tous les ans à partir de la 1ère année pour les PL et tous les 6 mois à partir du 6ème mois pour les bus et cars.

Les données du SDES [1156] détaillent le parc par âge en fonction du type de véhicule et de la motorisation. Elles sont traitées par le Citepa afin de distinguer les motorisations suivantes : Diesel, Essence, hybride rechargeable ou non et électrique.

Les données de parc du CCFA [54] sont disponibles pour la période 2001-2009. Elles ont été estimées en faisant des hypothèses prospectives des vignettes fiscales, ce qui peut laisser penser que l'incertitude de la donnée augmentait au fil des années. Afin de rendre la série temporelle cohérente, le parc global de référence pour cette période est ajusté en considérant (i) le parc par âge en fonction du type de véhicule et de la motorisation calculé via OPALE pour l'année 2000 et (ii) le parc du SDES [1156] pour l'année 2010. Le parc résultant est au même niveau de détail que celui du parc SDES.

*Les immatriculations de véhicules neufs*

Les immatriculations de VP neufs par cylindrée et de VUL et PL neufs par PTAC sont issus des données DAEI [55], ARGUS [56] et SDES [1289].

*Les taux de survie*

Pour la période 1960-2000, les taux de survie annuels des VP et des VUL sont calculés à partir des deux jeux de données précédents (parc par âge et immatriculations) par type de véhicule. Pour les autres types de véhicules, les taux de survie sont ceux de la littérature [311] :

- Pour les bus et cars, les taux de survie sont appliqués en fonction du type de motorisation (diesel et roulant à essence) ;
- Pour les PL, les taux de survie sont appliqués en fonction de leur catégorie et motorisation :
    - Poids-lourds rigides diesel ;
    - Poids-lourds articulés diesel ;
    - Poids-lourds essence.

Pour la période depuis 2001, le parc est calculé selon l'équation suivante :

$$Parc_{n,type,moteur,catégorie,âge} = \frac{immat_{n-âge,type,moteur,catégorie}}{\sum_{catégorie} immat_{n-âge,type,moteur,catégorie}} \cdot ParcCalage_{n,type,moteur,âge}$$

Où :

*Parc* : Parc statique calculé au format COPERT [nombre de véhicules] ;
*n* : année d'évaluation ;
*type* : type de véhicules [VP, VUL, PL rigide, PL articulé, Bus ou Car] ;
*moteur* : type de motorisation/carburant [diesel, essence, électrique ou hybride rechargeable] ;
*classe* : catégorie du véhicule en fonction de sa taille ou masse ;
*âge* : âge du véhicule ;
*immat* : nombre d'immatriculations de véhicules neufs ;
*ParcCalage* : le parc global de référence issu des données statistiques.

Pour les véhicules roulant au GPL ou au GNV, la structure fine est obtenue en appliquant la répartition fine des véhicules essences, car en général ces véhicules ont une double motorisation dont la motorisation essence.

*Le niveau de détail du parc global de référence :*

- **Pour les VP et VUL :**
    - [1960-2000] Parc par âge et type de véhicule ;
    - [A partir de 2001] Parc par âge, type de véhicule et type de motorisation (diesel, essence, hybride rechargeable et électrique).
- **Pour les PL :**
    - [1960-2000] Parc par catégorie véhicule et type de motorisation :
        - Poids-lourds rigides diesel ;
        - Poids-lourds articulés diesel ;
        - Poids-lourds essence.
    - [A partir de 2001] Parc par catégorie de véhicule, type de motorisation et âge :
        - Poids-lourds rigides diesel ;
        - Poids-lourds articulés diesel ;
        - Poids-lourds essence ;
        - Poids-lourds électrique ;
        - Poids-lourds articulés électrique.
- **Pour les bus et cars :**
    - [1960-2000] : Parc pour l'ensemble des bus et cars ;
    - [A partir de 2001] : Parc par type de véhicule (bus et cars séparément), âge et type de motorisation (diesel et électrique).

- Calcul du parc statique pour les 2 roues immatriculés en France

Le parc global de référence est celui établi par le CSNM [57] (jusqu'en 2005) et par l'officiel du cycle [387] (entre 2007 et 2011 inclus). Depuis 2012, il n'y a plus de données statistiques pour ce parc global (incluant les différentes catégories, i.e.

2 roues, mobylettes, motocyclettes, tricycles, quadricycles et voiturettes). Le parc de référence est donc établi en appliquant l'évolution du parc 2 roues issu des enquêtes de l'ONISR [1291] sur la série historique précédente.

Les immatriculations des 2 roues neufs par cylindrée sont issues des données DAEI [55]. Pour les 2 roues dont la cylindrée est inférieure à 50 $cm^3$, les immatriculations ne sont disponibles que depuis mi-2004 (date d'obligation d'immatriculation de cette catégorie de véhicules). Avant cette date, il est fait l'hypothèse que les ventes représentent les immatriculations.

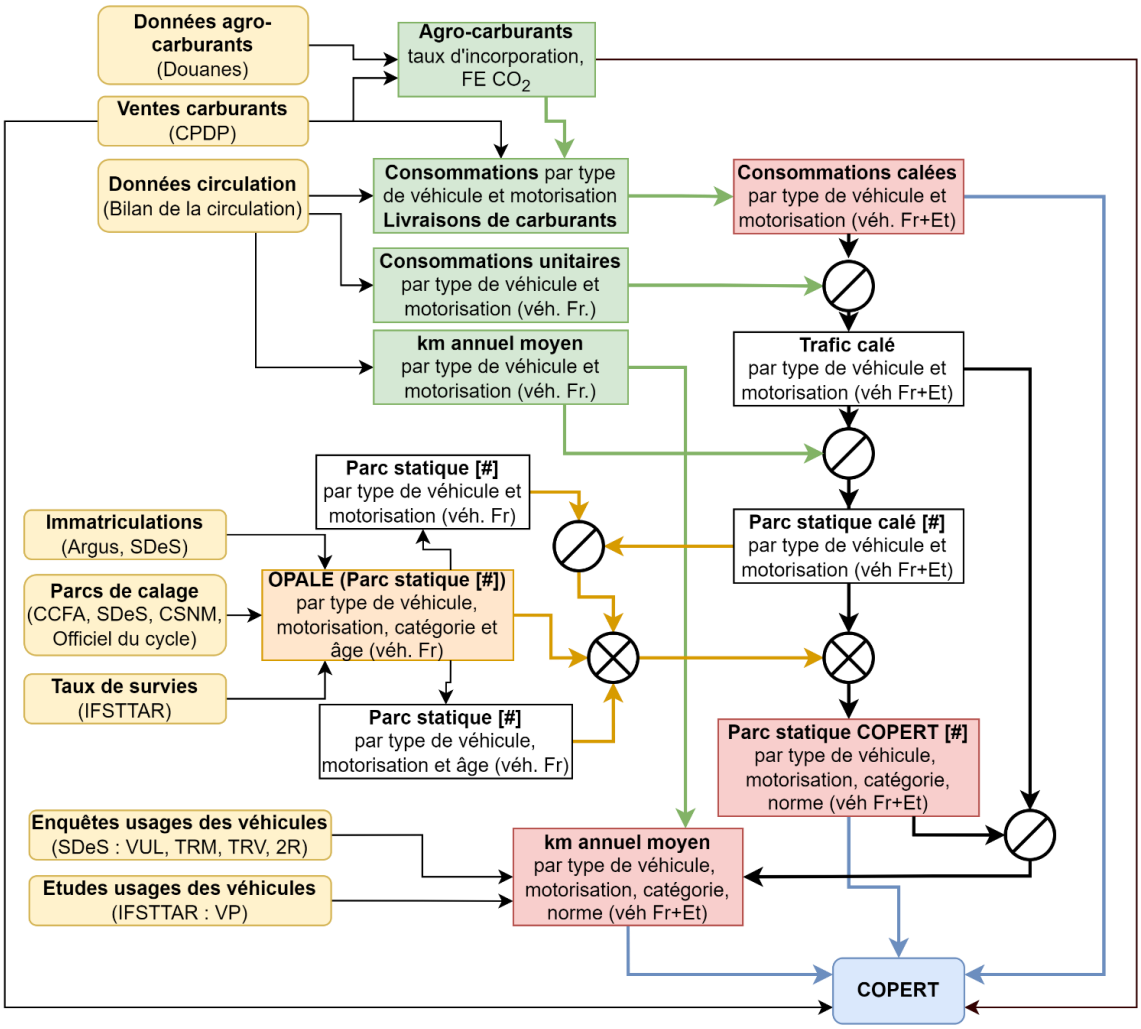
Les taux de survie sont ceux de la littérature [311].

Etape 2 : Calcul des données nécessaires à la mise en œuvre de la méthodologie COPERT

La deuxième étape clé pour les calculs d'émission selon la méthodologie COPERT consiste à réaliser une série de traitements et de calculs afin d'obtenir les données de base suivantes :

- Les **consommations de carburants** calées sur les ventes de carburant en France,
- Le **parc statique** des véhicules roulant sur la prise de carburant en France,
- Les **distances annuelles parcourues** par les véhicules.

**Figure 65 : Logigramme du processus d'estimation des données nécessaires calcul des émissions par le modèle COPERT.**




Les **consommations de carburants**, calées sur les ventes en France, par type de véhicules/motorisations [$Conso_{calé,Fr+Et}(type, moteur)$] sont estimées à partir des consommations sur le territoire par type de véhicules (Français et étrangers) et par motorisation [$Conso_{territoire,Fr+Et}(type, moteur)$] et du solde aux frontières (Solde) issues du bilan de la circulation [60, 1141, 1346]. La formule est la suivante :

$$Conso_{calé,Fr+Et}(type, moteur) = Conso_{territoire,Fr+Et}(type, moteur) \times \frac{Solde + \sum_i Conso_{territoire,Fr+Et}(i, moteur)}{\sum_i Conso_{territoire,Fr+Et}(i, moteur)}$$

i=2 roues, VP, VUL, PL, Bus et cars

Le parc statique calculé précédemment à l'étape 1 correspond aux véhicules immatriculés en France. Toutefois, puisque les ventes en France concernent aussi bien des véhicules français que des véhicules étrangers, il convient d'estimer **le parc de véhicules français et étrangers roulant sur prise carburant en France**, comme décrit ci-après.

Le trafic, exprimé en véhicules x kilomètres, par type de véhicules et par motorisation calé sur les ventes de carburants en France [$Trafic_{calé,Fr+Et}(type, moteur)$] est obtenu en divisant les consommations obtenues précédemment par la consommation unitaire [60, 1141, 1346] par type de véhicules (français) et par motorisations [$ConsoUnitaire_{Fr}(type, moteur)$], soit :

$$Trafic_{calé,Fr+Et}(type, moteur) = \frac{Conso_{calé,Fr+Et}(type, moteur)}{ConsoUnitaire_{Fr}(type, moteur)}$$

Ce trafic, divisé par les kilométrages annuels moyens [60, 1141, 1346] par type de véhicules (français) et par motorisation [$km_{Fr}(type, moteur)$], permet de déterminer le nombre de véhicules (VP, VUL, PL, Bus et cars et les deux roues) circulant sur prise carburant française [$Nbvéhicule_{calé,Fr+Et}(type, moteur)$].

L'hypothèse que les véhicules étrangers ayant fait une prise de carburant en France sont plus jeunes que le parc français est appliquée de la façon suivante :

$$Nbvéhicule_{calé,Fr+Et}(type, moteur, âge) = Nbvéhicule_{OPALE}(type, moteur, âge) \times \alpha_{type,moteur}^{(âge_{max} - âge)}$$

avec $âge_{max}$ = longévité maximum des véhicules (30 ans pour VP,VUL, bus et cars et PL, 15 ans pour les 2 roues).

Et $\alpha$ tel que :

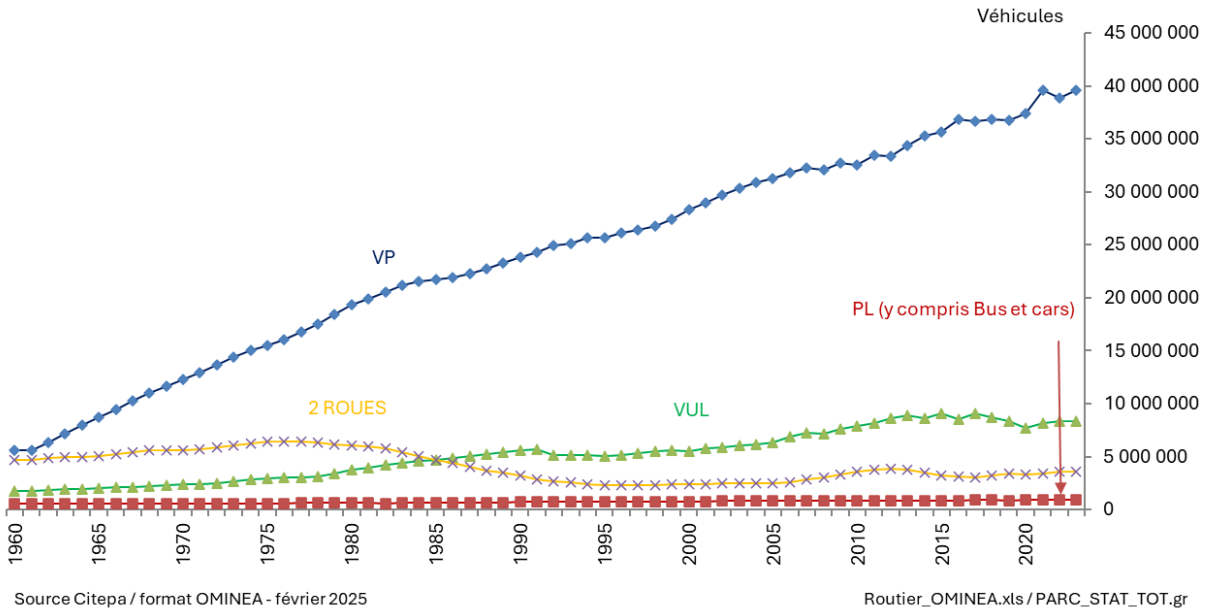
$$\sum_{âge} Nb\ véhicule_{OPALE}(type, moteur, âge) \times \alpha_{type,moteur}^{(âge_{max} - âge)} = Nb\ véhicule_{calé,Fr+Et}(type, moteur)$$
$$= \sum_{âge} Nb\ véhicule_{calé,Fr+Et}(type, moteur, âge)$$

Cette hypothèse ne s'applique qu'aux VP essence et Diesel, VUL essence et Diesel, PL Diesel et cars Diesel. L'hypothèse que les VP et les VUL GPL, électriques, GNV, les bus Diesel et GNV ainsi que les 2 roues sont des véhicules exclusivement français est prise en compte.

Ensuite, la répartition du parc par norme est obtenue en considérant la norme en vigueur à la date de première immatriculation. Le parc final, utilisé pour le calcul des émissions, est déterminé en calculant le parc à mi-année par moyenne arithmétique de deux années consécutives des parcs. La formule appliquée est la suivante :

$$Parc_{mi-année}(N) = \{Parc_{fin-année}(N-1) + Parc_{fin-année}(N)\}/2$$

**Figure 66 : Parc statique (Nombre) des véhicules routiers en Métropole**




Etape 3 : Calcul des émissions

Développé au travers de projets européens financés par l'agence Européenne de l'environnement (AEE) et la Commission européenne, la méthodologie COPERT [1134] est utilisée pour estimer les émissions à l'échappement et par évaporation. Ses données d'entrée sont les paramètres mentionnés précédemment, qui sont également utilisées pour les calculs des autres types d'émissions (liées à l'abrasion et à l'utilisation des climatisations). Le processus détaillé ci-après est réalisé par année d'évaluation.

Réalisation des balances énergétiques

Dans un premier temps, la balance énergétique en appliquée. Les distances annuelles parcourues sont initialement fixées à partir de diverses études [58, 60, 311, 1346] et des règles logiques sont respectées, telles que la décroissance de ces distances en fonction de l'âge du véhicule [547, 548, 549, 550, 551]. La consommation globale de chaque carburant (essence + bio-essence, gazole + bio-gazole, GPLc, GNV) est ensuite calculée aussi sur la base des autres divers paramètres renseignés (parc, trafic, pourcentage d'utilisation de différents réseaux et les vitesses associées, etc.). Le rapprochement de ces consommations calculées avec les ventes de carburants conduit à un processus d'ajustement des distances annuelles parcourues, afin d'obtenir des balances énergétiques satisfaisantes. Cet ajustement est réalisé sur tous les véhicules.

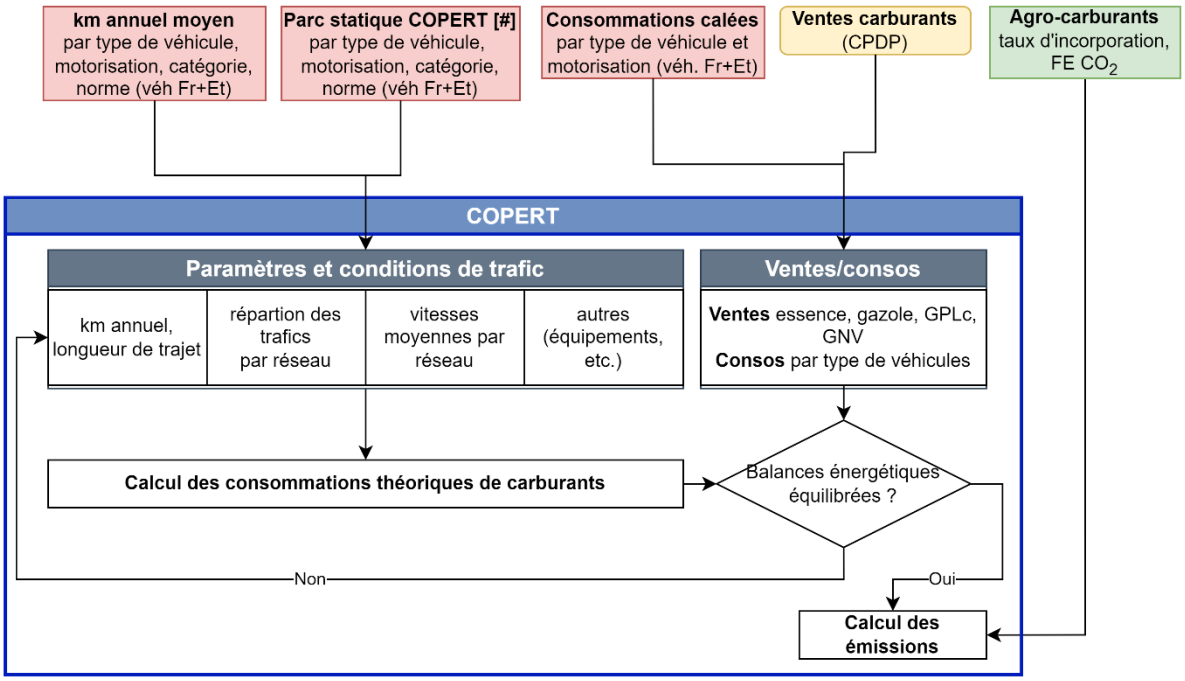
les balances énergétiques servent dans la méthodologie COPERT d'éléments de calage et de validation globale, par le biais d'un processus d'ajustement itératif entre le calcul théorique COPERT de la consommation de carburant (dépendant des paramètres de circulation) et la valeur statistique entrée[24] (respectivement pour les différents carburants) (cf. Figure 67).

La différenciation entre les livraisons sur le territoire français (ventes CPDP [14] auxquelles sont soustraits les usages non routiers) et les consommations sur le territoire français [60, 1141, 1346] est nécessaire du fait des exigences liées aux spécifications du rapportage des émissions auprès des instances internationales.

En effet, les spécifications des inventaires d'émissions CCNUCC pour les gaz à effet de serre et CEE-NU pour les autres polluants requièrent pour le transport routier un calage énergétique sur les ventes de carburant plutôt que sur l'estimation des consommations de carburant sur le territoire national. Les chiffres de consommation de carburant du bilan de la circulation [60, 1141, 1346] sont des estimations de consommation sur le territoire français (indépendamment du lieu d'achat du carburant, en France ou à l'étranger). C'est pourquoi, pour les inventaires d'émissions, ces chiffres de consommation de carburant par grand type de véhicules du bilan de la circulation [60, 1141, 1346] sont recalés sur les livraisons de carburant du transport routier (déterminées comme les livraisons CPDP de carburant auxquelles les consommations des usages non routiers estimées par le bilan de la circulation [60, 1141, 1346] sont soustraites).

[24] Les statistiques énergétiques disponibles (et utilisées dans les inventaires) pour les carburants routiers, correspondent aux données de livraisons de carburants plutôt qu'à des ventes à la pompe. La différence entre les deux valeurs est faible et est due à un décalage temporel de stock(s).

**Figure 67 : logigramme de processus d'estimation des émissions par le modèle COPERT**

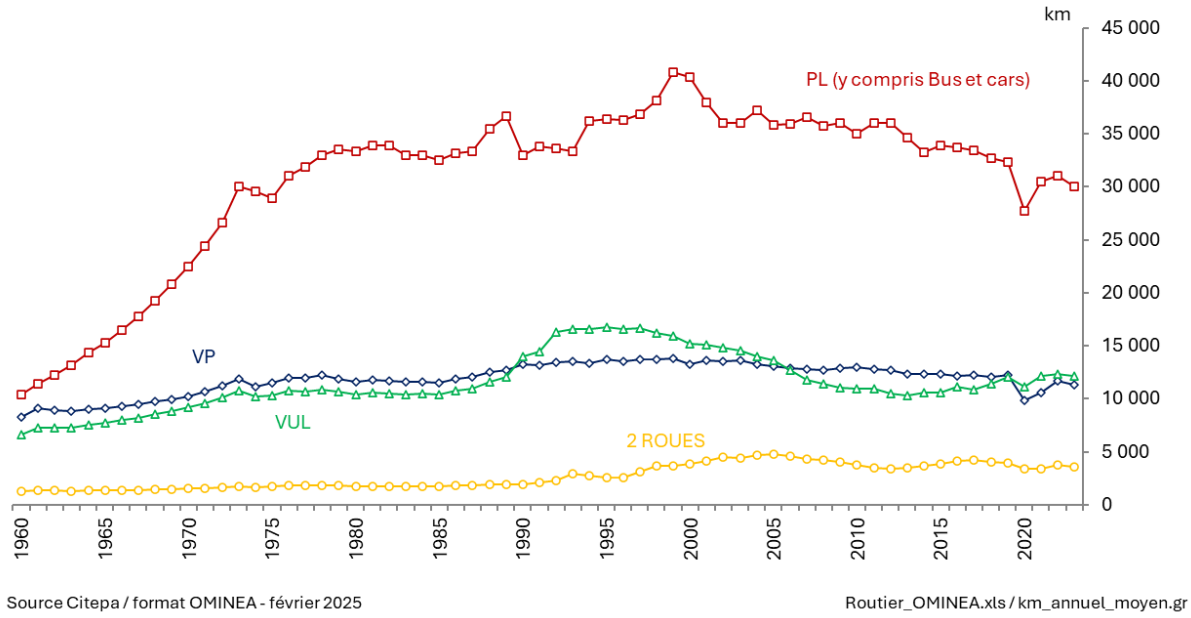



Pour ce qui est des données et conditions de circulation, celles-ci concernent :

- Les parcs roulants (trafic) : du fait du recalage des consommations CCTN [60, 1141] par rapport aux livraisons pour le routier, et du ratio entre ces consommations et les consommations unitaires du bilan de la circulation [60, 1141, 1346], le trafic correspond au trafic des véhicules circulant sur prise carburant française. Ces trafics (veh.km) parcourus par grand type de véhicule servent de référence pour l'estimation des kilomètres parcourus par type de véhicule défini dans COPERT.
- Les kilométrages annuels moyens par véhicule : la variation des kilométrages annuels moyens en fonction de l'âge des véhicules est prise en compte, d'après les éléments du rapport de l'IFSTTAR [547] pour les VP, et des enquêtes TRM, TRV, VUL et 2R [548, 549, 550, 551] pour les autres types de véhicules. D'autre part, comme indiqué ci-avant, un bouclage sur les kilomètres parcourus du bilan de la circulation [60, 1141, 1346] ajustés est assuré par grand type de véhicule.
- La répartition du trafic sur les 3 modes (urbain, rural, autoroute) : la répartition du trafic sur les 3 modes par type de véhicule est estimée à partir d'éléments relatifs dans le rapport de l'IFSTTAR [547] et avec un recalage sur la répartition par réseau du bilan de la circulation [60, 1141, 1346], globale tout véhicule.
- Les vitesses moyennes de référence sur les 3 modes (urbain, rural, autoroute) : La variation des vitesses sur les différents réseaux [1291] est prise en compte pour représenter au mieux la réalité des conditions de trafic en France.

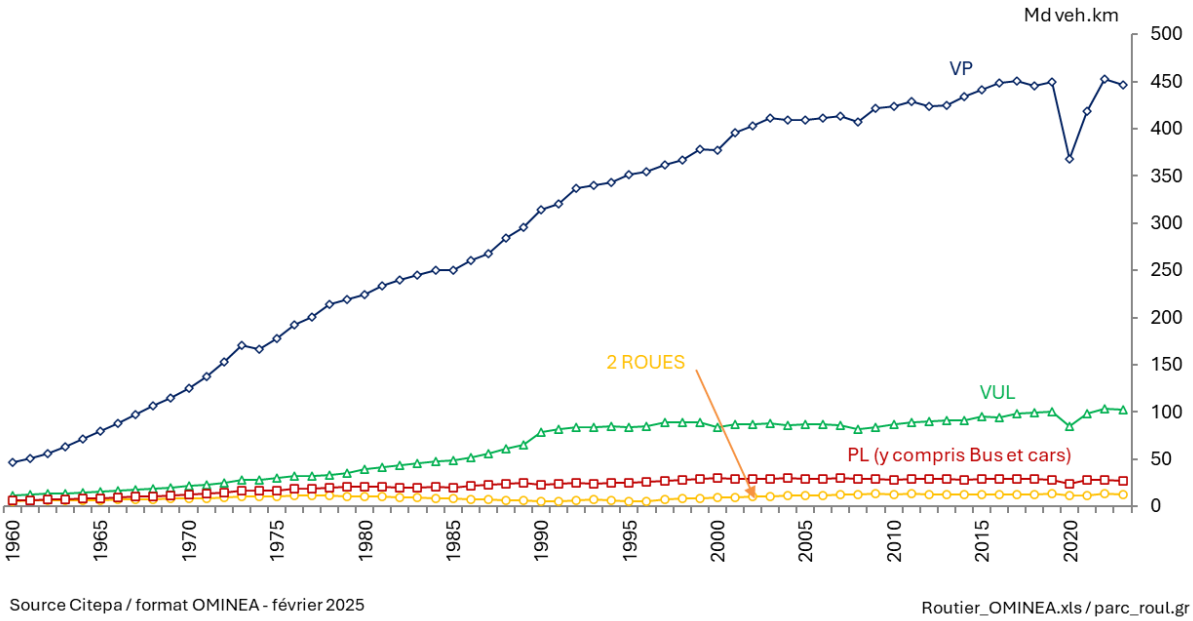
A ce stade du processus, le kilométrage et donc le parc roulant (i.e. trafic = véhicules x kilomètres parcourus) sont disponibles ainsi que le bilan énergétique par type de véhicule.

**Figure 68 : Kilométrage moyen des véhicules routiers en Métropole**




Source Citepa / format OMINEA - février 2025 Routier_OMINEA.xls / km_annuel_moyen.gr

**Figure 69 : Parc roulant (Md véhiculesxkilomètre) des véhicules routiers en Métropole**




Source Citepa / format OMINEA - février 2025 Routier_OMINEA.xls / parc_roul.gr

Calcul des émissions pour les émissions à l'échappement et par évaporation

Dans un deuxième temps, la méthodologie COPERT permet d'estimer les émissions de certains polluants sur la base du jeu de paramètres déterminés. Des tests de sensibilité ont montré que l'incidence de la paramétrisation est relativement limitée du fait que les fourchettes plausibles de valeurs sont assez bien maîtrisées et que pour obtenir une balance énergétique équilibrée, l'incidence de la modification d'un paramètre nécessite généralement la modification d'un ou plusieurs paramètres dont l'effet sera antagoniste.

Les émissions de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) par évaporation, véhicule en fonctionnement, à l'arrêt ou au remplissage du réservoir sont aussi déterminées [1155].

La consommation d'huile servant de lubrifiant dans les moteurs et qui est brûlée avec le carburant est déterminée en utilisant la méthodologie développée par le NERI [453]. La consommation d'huile est fonction du type de véhicule (VP, VUL, PL, 2 roues hors motocyclettes) et de l'âge de celui-ci en considérant que les véhicules neufs consomment entre 0,25 litre / 10 000 km (2 roues) et 2,5 litres / 10 000 km (PL). Pour les motocyclettes et les motos à moteur 2 temps, l'hypothèse que l'huile est mélangée à l'essence à hauteur de 3 % en volume est retenue.

L'huile consommée contribue en tant qu'hydrocarbure aux émissions liées à la combustion de manière similaire aux carburants, à l'exception des métaux lourds pour lesquels les compositions différenciées des huiles et des combustibles sont prises spécifiquement en compte.

Les émissions relatives aux huiles des moteurs 2 temps sont rapportés dans le secteur du transport routier (1.A.3.b), alors que celles relatives aux huiles des moteurs 4 temps sont rapportés dans le secteur (NFR-2.G/CRT-2.D.1)

*Les données de calcul pour les émissions liées à l'utilisation des climatisations*

Cf. 2.F.1

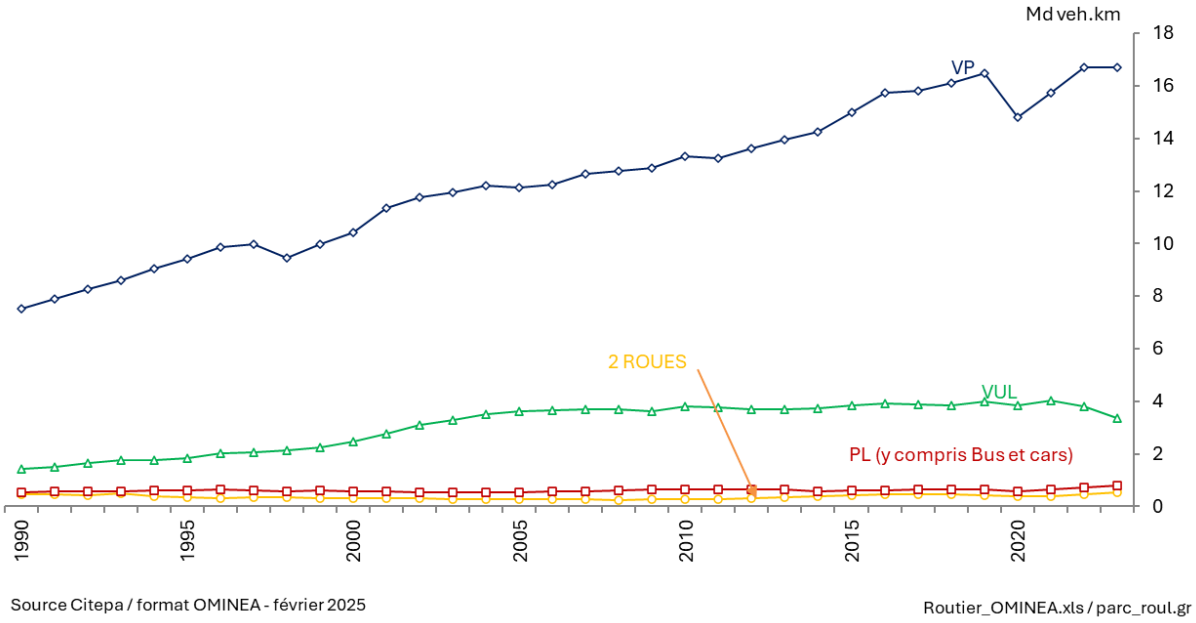
*Outre-mer*

Les données pour le calcul des émissions pour l'Outre-mer y compris les PTOM sont dérivées en partie des données de la métropole pour ce qui est de la structure de parc roulant.

Pour le parc statique, un parc agrégé (VP, VUL, PL, 2 Roues) est d'abord calculé à partir des données de l'INSEE [318, 319, 320, 321, 322] et du SDES [55] pour ces territoires ainsi que pour la métropole. Les ratios par grands types de véhicules entre les données de la métropole et les données de l'Outre-mer sont appliqués à chaque catégorie de véhicule (norme – cylindrée/poids) du parc de la métropole pour obtenir le parc de l'Outre-mer global (y compris PTOM).

Les consommations de carburants dans ces territoires sont données dans le bilan énergétique réalisé en interne [318, 319, 320, 321, 400, 401, 402 et 403]. Les kilométrages annuels moyens introduits dans la méthodologie COPERT [1134] sont ceux de la métropole. Des ajustements de ces kilométrages annuels moyens sont effectués pour obtenir une balance énergétique équilibrée puis, in fine, le parc roulant et ainsi calculer les émissions. Les émissions par territoire sont réparties au prorata des consommations de carburants dans chaque territoire.

**Figure 70 : Parc roulant (Md véhiculesxkilomètre) des véhicules routiers en Outre-mer (y compris PTOM)**




**Remarques :**

- un minimum de degrés de liberté est nécessaire pour permettre les ajustements. Ceux-ci sont effectués différemment selon les types de véhicules de manière à conserver un maximum de cohérence avec les données de la CCTN.
- les agro-carburants sont pris en compte. Pour les inventaires de gaz à effet de serre requis pour la CCNUCC, la contribution des agro-carburants dans les émissions de $CO_2$ est nulle car ces derniers sont produits à partir de biomasse à rotation rapide (cycle annuel). Les émissions de $CO_2$ issues des agro-carburants sont rapportées sur la ligne "biomasse" des tables CRT, mais ne sont pas cumulées dans le total $CO_2$ du transport routier.

Les émissions de $CO_2$ sont issues de la combustion des carburants (essence, gazole, gaz naturel véhicule et GPLc) et des agro-carburants (bio-essence et bio-gazole). L'incorporation d'agro-carburant n'a lieu qu'en métropole.

L'estimation des émissions de $CO_2$ issues de la combustion des agro-carburants est réalisée en intégrant au modèle méthodologique COPERT [1134] les pourcentages massiques d'agro-carburants dans les produits pétroliers ainsi que leurs facteurs d'émission. Il est ainsi possible de distinguer les émissions de $CO_2$ issues des produits pétroliers et celles issues des agro-carburants. Ces dernières étant exclues du total des émissions des gaz à effet de serre dans le cadre de la convention sur les changements climatiques.

Les facteurs d'émission du gazole et de l'essence, sont calculés en fonction du ratio hydrogène sur carbone (H/C), mesuré en 2017 sur des carburants vendus en France (mesures additionnelles au cadre de la directive UE sur la qualité des carburant-FQMS, cf. section *OMINEA_1A_fuel emission factor*). La consommation d'huile des moteurs 2 temps est aussi prise en compte. Pour les agro-carburants, le détail des facteurs d'émission de $CO_2$ est présenté en section 1.A.

Les facteurs d'émission sont fournis dans le tableau ci-dessous.

Les émissions de $CO_2$ liées à la combustion de l'huile dans les moteurs 4 temps (huile qui remonte du carter moteur dans la chambre de combustion) sont rapportées dans la section 2.D.1.

Les émissions de $CO_2$ liées à la l'utilisation d'urée dans les catalyseurs SCR sont rapportées dans la section 2.D.3.4 en considérant que les émissions de $CO_2$ correspondent à 23,8% de la consommation d'urée.

Il est à noter que la totalité des émissions de $CO_2$ issues de l'huile est incluse dans l'inventaire national faute d'information sur la part d'huiles moteur d'origine biologique.

**Tableau 77 : Facteurs d'émission de $CO_2$ selon les combustibles (en g/kg)**

| NAPFUE | Produit | FE $CO_2$ g/kg |
|---|---|---|
| 205 | Gazole | 3175 |
| 208 | Essence plombée | 3241 |
| | Essence non plombée | 3189 |
| 25B | Bio Gazole | cf. Partie générale combustion |
| 28B | Bio Essence | |
| 303 | GPLc | 3002 |
| 219 | Huile | 2947 |
| 302 | GNV | cf. Partie générale combustion |

***Emissions de $CH_4$***

Les facteurs d'émissions de méthane sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134]. Ils sont fonction de divers paramètres comme : le type de véhicule, la norme d'émission, le réseau et la température.

Pour estimer les émissions de $CH_4$ issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de $CH_4$ des produits pétroliers ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

***Emissions de $N_2O$***

Les facteurs d'émission de $N_2O$ sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134].

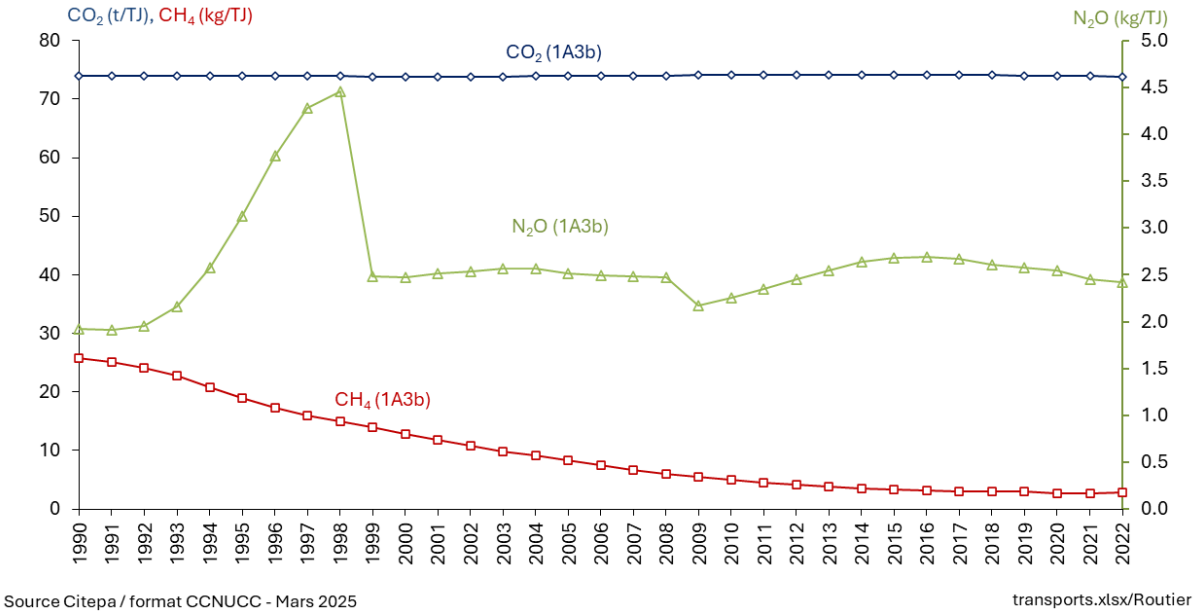
Pour estimer les émissions de $N_2O$ issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission de $N_2O$ des produits pétroliers ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

Les facteurs d'émission $N_2O$ des véhicules particuliers et des véhicules utilitaires légers dépendent du kilométrage cumulé et du taux de soufre dans les carburants. Ce dernier, provoque des changements des évolutions parfois fortes du facteur d'émission quand le taux change.

***Emissions de Gaz fluorés***

Les émissions de gaz fluorés sont incluses dans le secteur 2.F.1.

**Figure 71 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) du transport routier**




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 transports.xlsx/Routier

### 3.2.7.2.3 Transport ferroviaire (1.A.3.c.)

La méthode appliquée est de rang 2 (avec des facteurs d'émission de $CO_2$ nationaux spécifiques) pour le $CO_2$ et de rang 1 pour le $CH_4$ et le $N_2O$.

***Introduction***

Le parc de matériel en exploitation n'est pas connu avec précision, une méthodologie simplifiée est ainsi utilisée. Les consommations de combustibles des locomotives et des locotracteurs sont estimées à partir des données du CPDP [14], du bilan RSE de la SNCF [668], des données trafic de la SNCF[1223] et du bilan de la circulation [60, 1346].

Les émissions réglementées de CO, COVNM, NOx et PMs en particulier, sont estimées à partir de la structure du parc de matériel, ventilée par norme EMNR pour chaque année. L'évolution de cette structure est théorique et tient compte d'un taux de renouvellement du matériel de 5 % par an.

Pour les émissions dues à l'usure des matériels, les longueurs des parcours sont déterminées ainsi :

- à partir des références [14, 60, 104] jusqu'en 2005 ;
- à partir du mémento statistique [1158] entre l'année 2005 et 2017 ;Les données SNCF pour les années 2018 et 2022 [1223] ;
- Pour les années intermédiaires entre 2018 et 2022, et postérieures à 2022, une évolution au prorata des tonnes X kilomètres et passagers X kilomètres du bilan annuel des transports [1346].

***Émissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs au combustible utilisé. La valeur pour le gazole est appliquée uniformément à tous les engins (cf. Partie générale combustion).

***Émissions de $CH_4$***

Le facteur d'émission tiré de la section routier du Guidebook EMEP/EEA [1134] (du fait de l'assimilation du moteur des locomotives Diesel au moteur des poids lourds routiers conventionnels, i.e. sans post-traitement) est utilisé. La valeur moyenne pour tous les équipements est de 10,6 g/GJ. Cette hypothèse est validée à la suite d'une consultation auprès des experts français de l'industrie ferroviaire (SNCF, Société nationale des chemins de fer français).

Le facteur d'émission pris en compte est issu d'une pondération (1/3 de chaque réseau) des facteurs d'émissions urbain (175 mg/km), route (80 mg/km) et autoroute (70 mg/km) des poids lourds conventionnels du transport routier (tirés du Guidebook EMEP/EEA, table 3.47 [1134]).

Ce facteur d'émission est ramené en énergie en considérant une consommation unitaire des PL de 240 g/km (tirés du Guidebook EMEP/EEA, table 3.15 [1134]) ainsi que le PCI du combustible.

***Émissions de $N_2O$***

Le facteur d'émission dépend du combustible utilisé (cf. Partie générale combustion). Pour le gazole, la valeur spécifique à la France utilisée est de 2,93 g/GJ. L'origine des facteurs d'émission de base est la référence [1134] du fait de l'assimilation du moteur des locomotives Diesel au moteur des poids lourds routiers conventionnels (i.e. sans post-traitement). Cette hypothèse est validée à la suite d'une consultation auprès des experts français de l'industrie ferroviaire (SNCF, Société nationale des chemins de fer français).

Le facteur d'émission pris en compte est issu des facteurs d'émissions urbain, route et autoroute (30 g/km) des poids lourds conventionnels du transport routier (tirés du Guidebook EMEP/EEA, table 3.65 [1134]).

Ce facteur d'émission est ramené en énergie en considérant une consommation unitaire des PL de 240 g/km (tirés du Guidebook EMEP/EEA, table 3.15 [1134])

En se réfèrant au guide méthodologique EMEP/EEA 2019 [1140] pour le secteur ferroviaire (1.A.3.c.), la valeur proposée pour l'approche tier 2 est de 24 g/t soit 0,57 g/GJ (en prenant comme source le secteur 1.A.3.b.iii., i.e. les poids lourds conventionnels).

Les valeurs par défaut des lignes directrices GIEC 2006 (comprises entre 14,3 g $N_2O$/GJ et 85,8 g N2O/GJ avec une valeur moyenne de 28,6 g N2O/GJ) sont considérées trop hautes par la France.

***Émissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Figure 72 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du ferroviaire.**

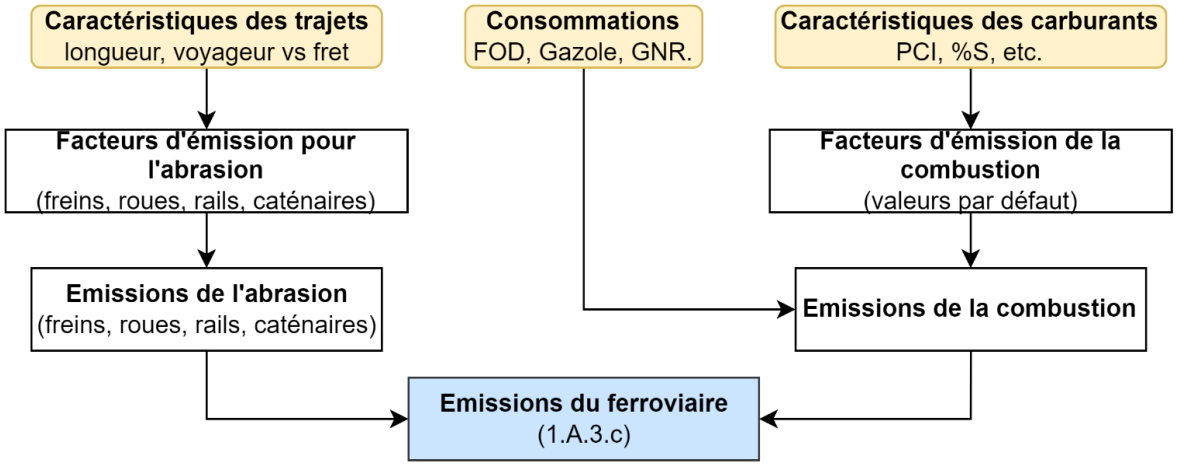
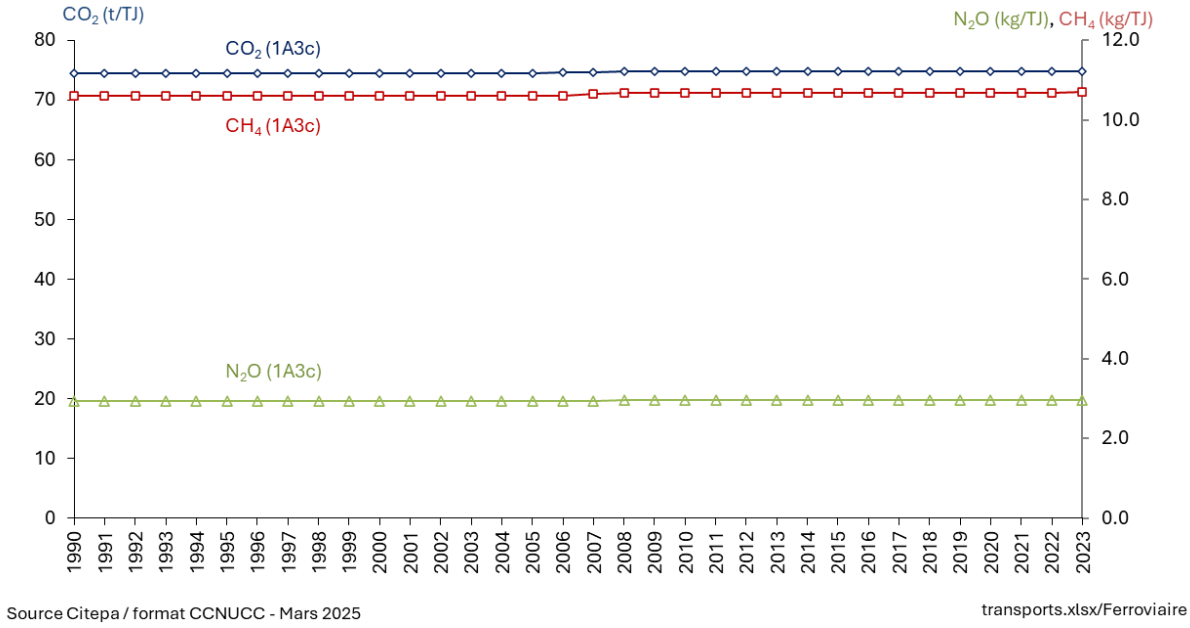


**Figure 73 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) du transport ferroviaire**




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025

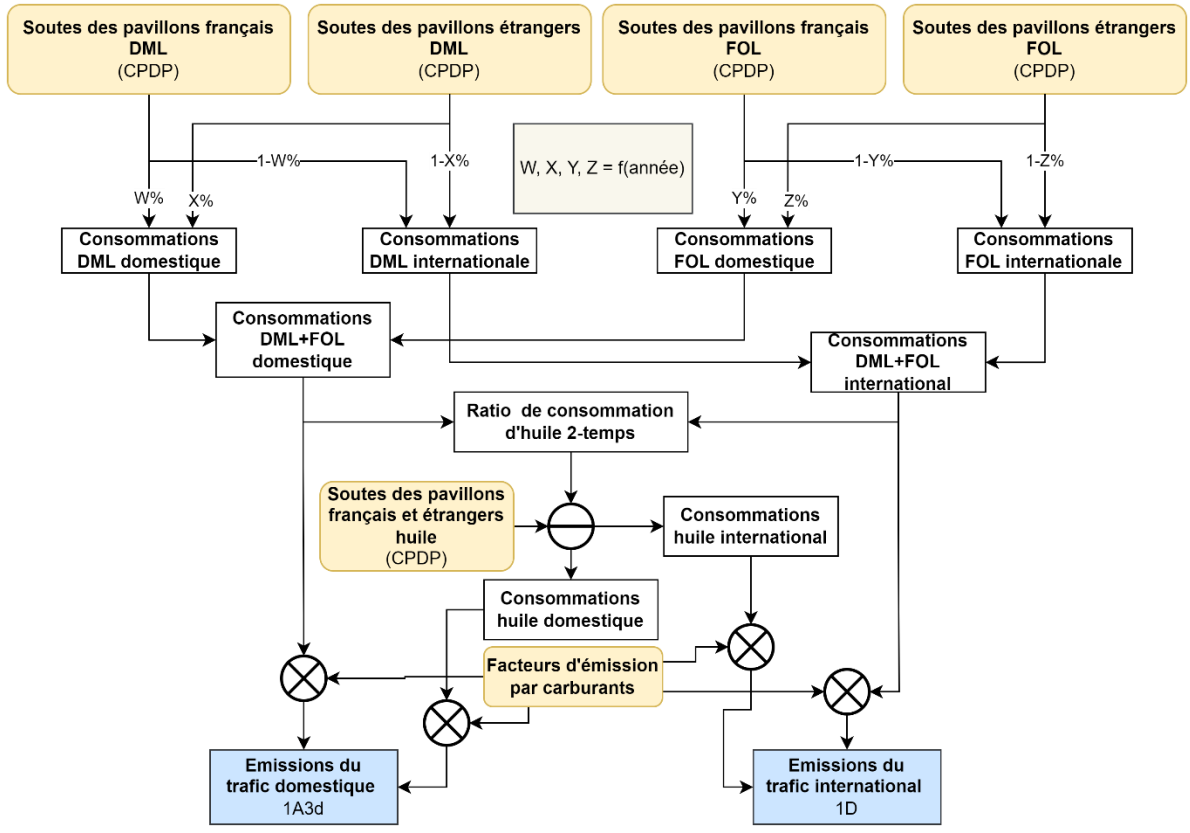
transports.xlsx/Ferroviaire

### 3.2.7.2.4 Transport maritime et voie navigable (1.A.3.d.)

Les émissions sont calculées à partir des ventes de combustibles et de facteurs d'émissions.

*Transport maritime*

**Figure 74 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du trafic maritime.**



***Emissions de $CO_2$***

Les facteurs d'émission retenus sont les valeurs spécifiques françaises par défaut, cf. section générale énergie.

***Emissions de $CH_4$***

Le facteur d'émission dépend du type d'équipement et de sa charge elle-même variable selon les phases. L'approche utilisée s'appuie sur des valeurs moyennes proposées par les directives GIEC [669] appliquées uniformément à tous les navires et toutes les années à raison de 7,0 g/GJ pour le diesel marin léger et pour le fioul lourd.

Pour estimer les émissions de $CH_4$ issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de $CH_4$ du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ sont estimées sur la base des facteurs d'émission issus des directives GIEC [669], à savoir de 2 g/GJ pour le diesel marin léger et pour le fioul lourd.

Pour estimer les émissions de $N_2O$ issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de $N_2O$ du FOL ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

*Voie navigable & plaisance*

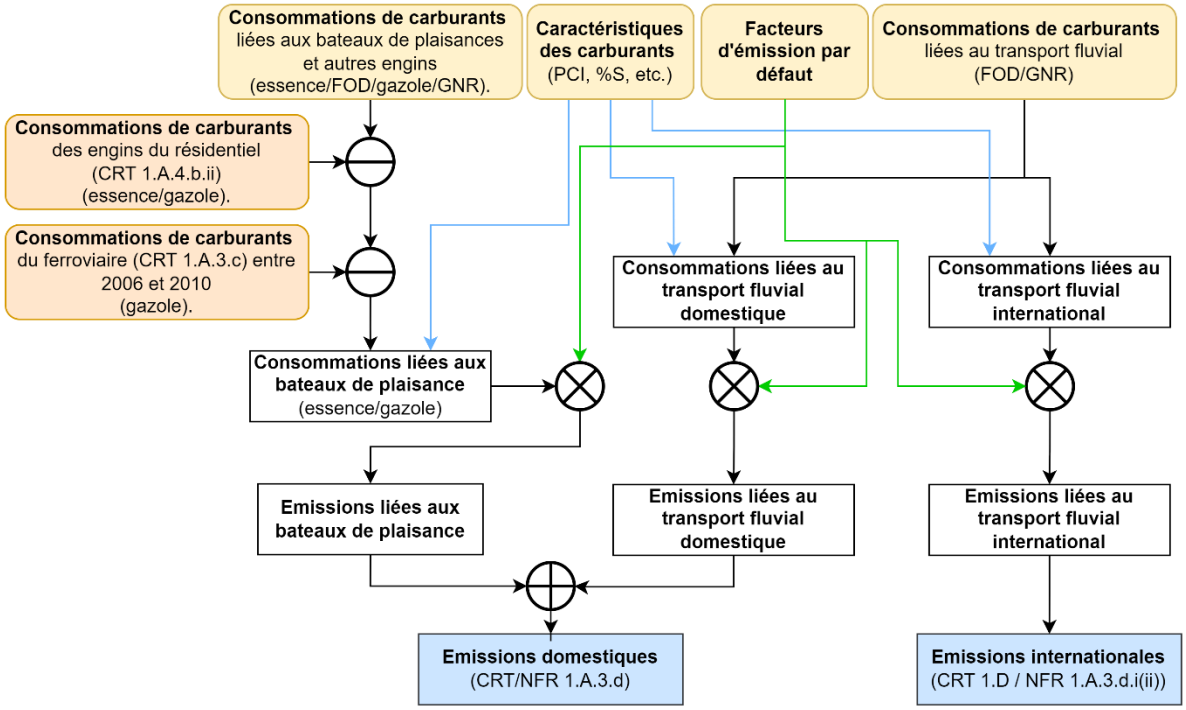
Deux sous-secteurs se distinguent dans ce chapitre : les bateaux dédiés au transport de marchandises de la navigation intérieure (trafic fluvial marchandise) et les bateaux de plaisance & autres usages (bateaux équipés de moteurs auxiliaires, bateaux à moteurs pour l'usage professionnel, bateaux de plaisances). Les bateaux de pêche ne sont pas inclus ici, mais dans le secteur pêche (cf. OMINEA_1A4c_fishing).

L'estimation des consommations et les facteurs d'émission utilisés étant différents, ces deux activités sont considérées séparément :

- **Les consommations de carburant des bateaux de plaisance & autres usages.** Les consommations sont estimées à partir des données du bilan de la circulation [60, 1346] qui fournit les consommations attribuées à la plaisance et autres engins. Le parc d'engins à motorisation essence est reparti entre 25 % de moteurs 2 temps et 75 % de moteurs 4 temps.
    - Gazole : Les consommations de gazole dues aux trafics de plaisance sont calculées en déduisant du total donné par le bilan de la circulation [60, 1346] (ligne « divers »), la consommation de gazole attribué aux engins du secteur résidentiel/tertiaire et à la consommation de gazole du secteur ferroviaire. A noter que le secteur ferroviaire n'est inclus dans ces statistiques que sur la période 2006-2010 car jusqu'en 2005 le ferroviaire utilisait que fioul domestique (FOD) et, à partir de 2011, du gazole non-routier (GNR), ces deux combustibles n'entrant pas dans le champ « gazole routier » du bilan de la circulation.
    - Essence : Les consommations d'essence dues aux trafics de plaisance sont calculées en déduisant du total donné par le bilan de la circulation [60, 1346] (ligne « divers »), les consommations d'essence attribuées aux engins des secteurs résidentiel/tertiaire et agriculture/sylviculture. La consommation d'huile 2 temps mélangée et brulée avec l'essence est calculée en prenant en compte l'hypothèse d'un mélange à hauteur de 3 % en volume.

- **Les consommations de carburant du transport fluvial marchandise.** Les activités liées à ce trafic fluvial sont issues des données du transport de marchandises [670] et du bilan annuel des transports [1141]. Elles sont fournies en tonnes x kilomètres attribuées d'une part au transport domestique et d'autre part au transport international. Les consommations sont calculées par la multiplication de ces données d'activité par l'intensité énergétique. Cette dernière donnée est exprimée en tonne de carburant consommé par tonnes x kilomètres de marchandise transportée. Ceci est obtenu en faisant évoluer les ratios entre les consommations de carburant en tonnes fournies jusqu'à l'année 1998 par le CPDP [14] et les données de trafic de la CCTN [670]. Les engins mis en œuvre sont supposés utiliser comme carburant :
    - Fioul domestique (FOD) : Le FOD est utilisé jusqu'en septembre 2011 (l'hypothèse prise en compte est que deux tiers de la consommation totale en 2011 correspondent à la consommation de FOD) ;
    - Gazole non routier (GNR) : Le GNR est utilisé à partir de septembre 2011 (l'hypothèse prise en compte est qu'un tiers de la consommation totale en 2011 correspond à la consommation de GNR). Avec le passage au GNR, l'incorporation d'agro-carburant est donc considérée dans l'activité de ce sous-secteur.

**Figure 75 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du fluvial et de la plaisance.**




***Émissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs au combustible utilisé (cf. partie générale combustion). Les valeurs par défaut (par combustible) sont appliquées uniformément à tous les bateaux.

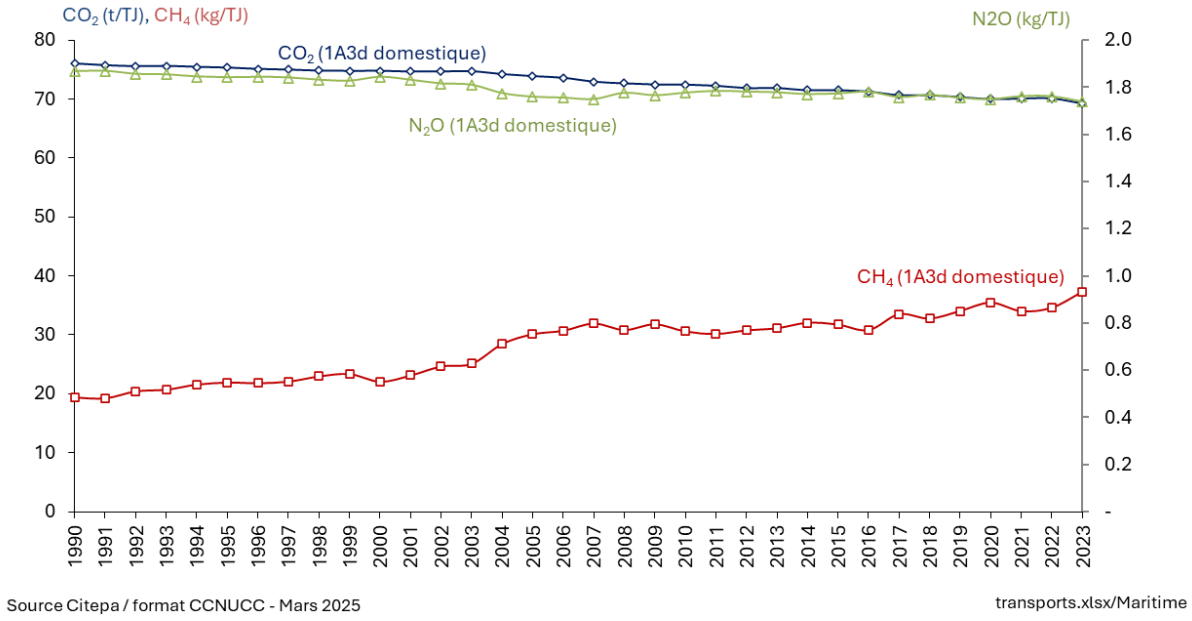
***Émissions de $CH_4$***

Pour les bateaux de plaisance, les émissions de $CH_4$ sont estimées sur la base d'un facteur d'émission de 58,0 g $CH_4$/GJ pour l'essence [669]. Pour le gazole, l'estimation est basée sur le facteur d'émission aussi retenu pour les bateaux du trafic fluvial, soit 7,04 g $CH_4$/GJ [669].

***Émissions de $N_2O$***

Le facteur d'émission utilisé est établi à 1,9 g $N_2O$/GJ pour le gazole et à 1,5 g $N_2O$/GJ pour l'essence. L'origine des facteurs d'émission de base est la référence [669].

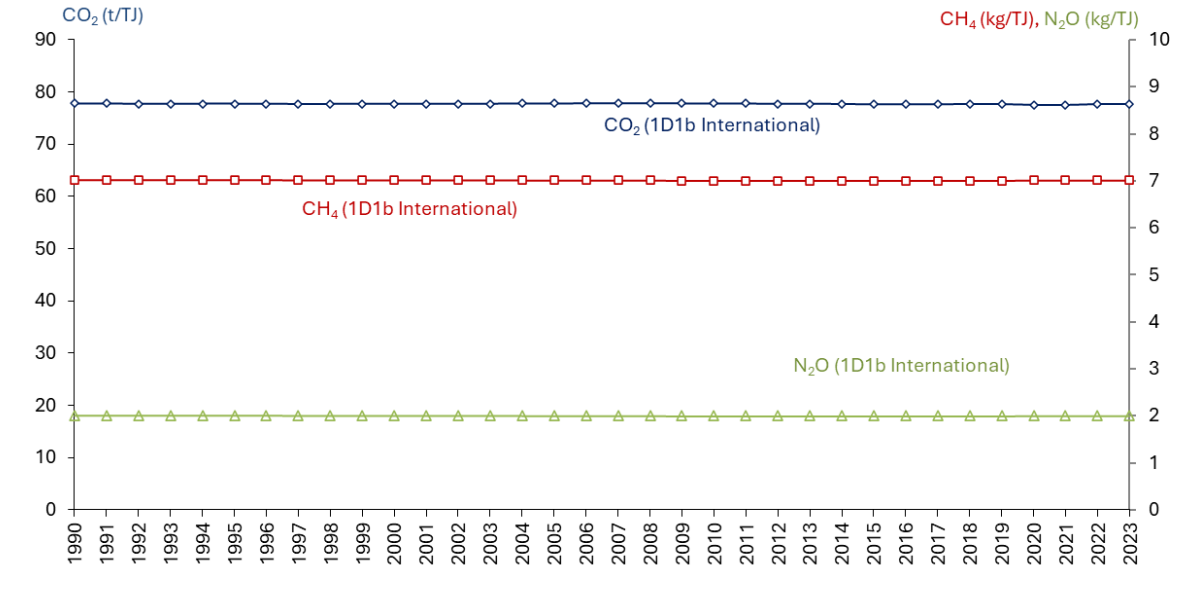
**Figure 76 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) du transport maritime domestique**




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 transports.xlsx/Maritime

L'augmentation continue du facteur d'émission de $CH_4$ est liée à la proportion grandissante d'essence dans le mix énergétique.

**Figure 77 : Evolution des facteurs d'émission de GES du transport maritime international**




Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 transports.xlsx/Maritime

### 3.2.7.2.5 Autres transports (1.A.3.e.)

Stations de compression du réseau de transport et de distribution du gaz (1.A.3.e.i.)

La méthode appliquée est de rang GIEC 2.

Les données de consommation de gaz sont disponibles pour les différents sites ou entreprises [19, 29] et permettent une estimation assez fine des émissions pour la plupart des substances, notamment celles concourant à l'acidification et au changement climatique.

Les données d'activités et les émissions déclarées par les exploitants permettent de calculer des facteurs d'émission moyens représentatifs du parc français.

***Émissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen du facteur d'émission relatif au gaz naturel. La valeur nationale est appliquée (cf. section « 1A_fuel emission factors ») jusqu'en 2004. Elle est déterminée à partir des déclarations dans le cadre du SEQE à partir de 2005 [19].

***Émissions de $CH_4$***

Un facteur d'émission spécifique annuel est calculé à partir des déclarations depuis 2005 [19]. Avant cette date, afin d'assurer la cohérence temporelle, le facteur d'émission appliqué correspond à la moyenne de la période 2005 - 2011.

***Émissions de $N_2O$***

Un facteur d'émission spécifique annuel est calculé à partir des déclarations depuis 2005 [19]. Avant cette date, afin d'assurer la cohérence temporelle, le facteur d'émission appliqué correspond à la moyenne de la période 2005 - 2011.

***Émissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

**Figure 78 : Logigramme du processus d'estimation des émissions des stations de compression.**

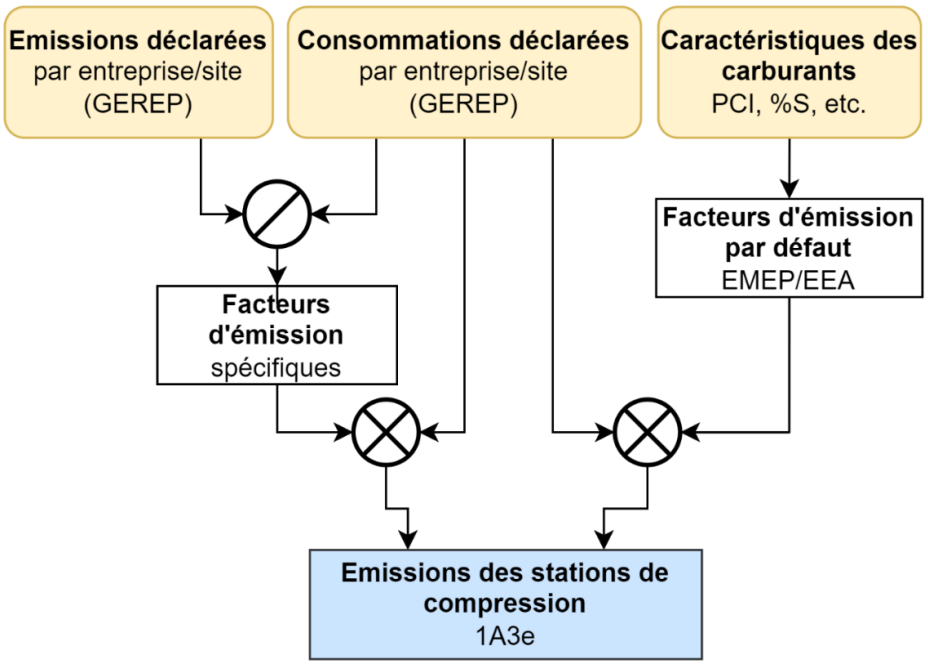
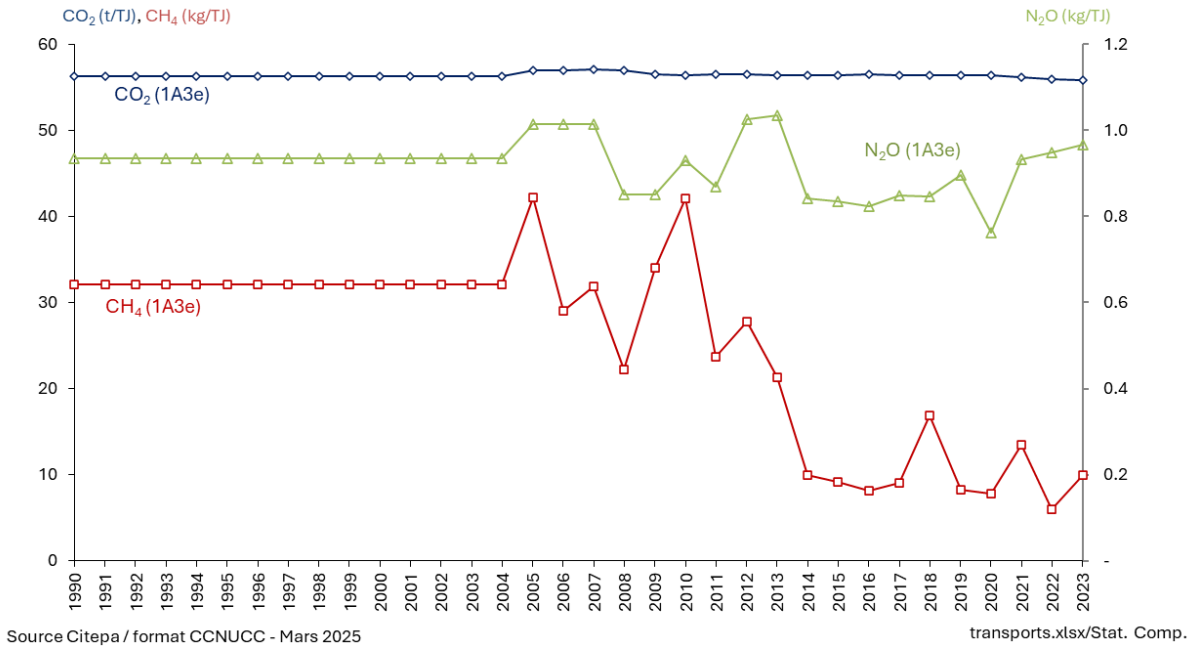


**Figure 79 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) des stations de compression**




Autres transports (1.A.3.e.ii.)

Cf. section 1.A.4.a

### 3.2.7.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 2. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

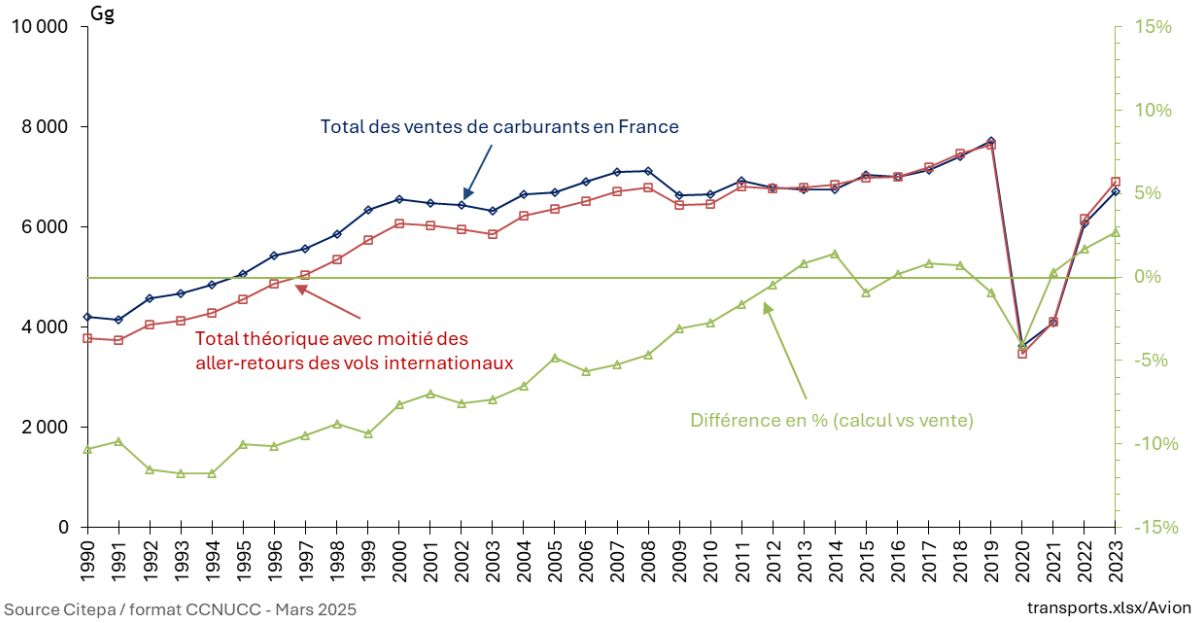
L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes associées au secteur est effectuée au 4ème niveau de la catégorie CRT (i.e. à l'échelle des sous-catégories 1.A.3.a., 1.A.3.b., 1.A.3.c., 1.A.3.d. et 1.A.3.e.).

*Les incertitudes des données d'activité*

Les données d'activité pour les carburants utilisés dans le transport sont bien connues en raison de statistiques précises sur les ventes totales de carburant. L'incertitude des données d'activité est ainsi considérée égale à 3 % au 3ème niveau de la catégorie CRT (i.e. 1.A.3). A l'échelle des sous-catégories CRT, des différences peuvent être identifiées, avec notamment des incertitudes plus élevées.

Pour le transport aérien, la comparaison des consommations théoriques et des ventes françaises montre des différences variant de -12 % à 2,7 % selon l'année.

**Figure 80 : Comparaison entre les consommations théoriques du modèle et les ventes totales françaises de carburants**




La valeur de 5 % a été retenue pour les incertitudes des activités du transport aérien (1.A.3.a.) de l'année d'évaluation en cours et de 10 % pour l'année 1990.

Pour le transport routier (1.A.3.b.), une méthode de Monte-Carlo a été développée pour estimer les incertitudes sur les émissions. Cette méthode détaillée ci-après.

Pour les autres sous-secteurs, les valeurs sont présentées dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

*Les incertitudes des facteurs d'émission*

Les incertitudes des facteurs d'émission de $CH_4$ et de $N_2O$, hors transport routier, sont issues du guidebook EMEP/EEA [1134] (c.f. section 1.6).

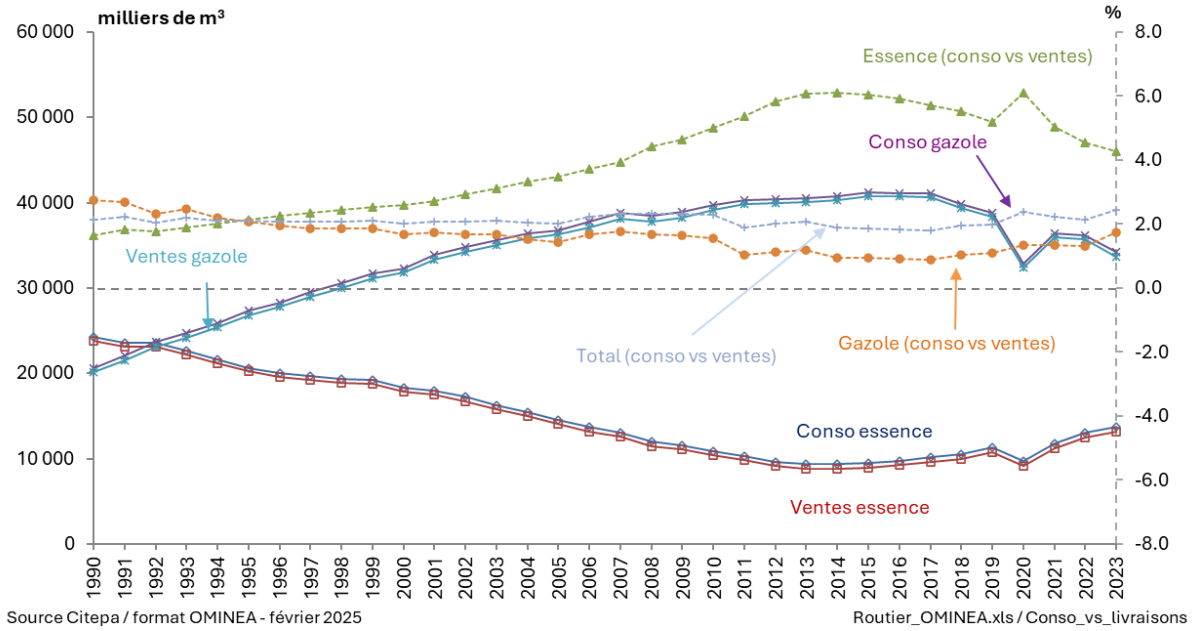
Concernant l'incertitude sur le facteur d'émission de $CO_2$ (y compris transport routier) celui-ci dépend uniquement du combustible et est peu sujet à des fluctuations en moyenne. A partir des mesures réalisées en 2017, un calcul d'incertitude par la méthode Monte-Carlo a été mise en place et le résultat donne une incertitude de 1 % pour les facteurs d'émissions de $CO_2$ de l'essence et du gazole. Une incertitude de 1 % a aussi été prise en compte pour les contenus carbone des autres carburants tels que le GPLc et le GNV.

*Les incertitudes des émissions du transport routier via la méthode de Monte-Carlo*

Pour le transport routier, les statistiques proviennent des mêmes organismes sur l'ensemble de la période. Lors de changements méthodologiques provenant, soit de la mise à jour de la méthodologie COPERT, soit de modifications dans la prise en compte des statistiques de parc, l'ensemble de la série est recalculé pour conserver la cohérence temporelle. La comparaison des consommations sur le territoire et des ventes montre des différences variant de -1,7 % à 6,1 % pour l'essence, de 0,9 % à 2,7 % pour le gazole et 1,8 % à 2,4 % gazole et essence combinés (cf.

Figure 81).

**Figure 81 : Comparaison entre les consommations de carburants du routier sur le territoire et les ventes/livraisons à usage routier (en métropole)**




Afin d'estimer les incertitudes des activités (trafics et consommations) et des émissions, une simulation Monte Carlo a été réalisé sur les variables d'un modèle simplifié du calcul des émissions du routier.

Ce modèle simplifié est construit d'après l'équation suivante, pour la consommation :

$$C_f = \sum_{veh} \sum_{norme} N_{veh,mot,norme} \times km_{veh,mot,norme} \times CU_{veh,mot,norme}$$

et d'après les équations suivantes, pour l'estimation des émissions :

$$E_p = \sum_{veh} \sum_{mot} \sum_{norme} N_{veh,mot,norme} \times km_{veh,mot,norme} \times FE_{p,veh,mot,norme}$$

$$E_{CO_2} = \sum_{veh} \sum_{f} \sum_{norme} consommation_{veh,f,norme} \times FE_{CO_2,f}$$

Avec :

- $C_f$ : consommation du carburant f
- $E_p$ : Emissions du gaz p
- $f$ : carburant (essence, gazole, GNV, GPLc)
- $p$ : gaz ($N_2O$ ou $CH_4$)
- $N$ : nombre de véhicules
- $veh$: type de véhicule (VP, VUL, PL, Bus et cars, 2R)
- $mot$ : motorisation (essence, diesel, hybride, gpl, gnv, electrique)
- $norme$ : norme du véhicule
- $km$ : kilométrage annuel moyen
- $CU$ : consommation unitaire en g/(veh x km)
- $FE$ : facteur d'émission en g/(veh x km)

Les hypothèses suivantes ont été prises en compte :

- L'ensemble des variables de parc, trafic, consommation unitaire et facteur d'émission suivent une distribution log-normale,
- Les incertitudes associées aux variables de parc et trafic sont plus élevées quand le véhicules est ancien. Cette hypothèse s'explique par une moins bonne connaissance des véhicules sortant du parc,

- Les incertitudes sont plus importantes pour les motorisations alternatives (telles que les véhicules hybrides électrique ou à gaz), car il y a peu de véhicules associés et donc peu de données,
- Les incertitudes des consommations unitaires et des facteurs d'émissions sont plus faibles pour les véhicules anciens, car beaucoup de mesures existent, ce qui est moins le cas pour les véhicules récents.

La figure suivante montre un exemple des données d'entrées utilisées pour le calcul d'incertitudes.

| Veh | Motorisation | Norme | N | Delta_N | km | Delta_km | Trafic | Delta_trafic | CU | Delta_CU | CU_bio | Delta_consobio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Unité | | | Nb. de véh. | % | - | % | Md Vehxkm | % | g/(vehxkm) | % | g/(vehxkm) | % |
| VP | essence | avant Euro 1 | 81 358 | 50 | 2 975 | 55 | 0,24 | | 56 | 10 | 8,1 | 10 |
| VP | essence | Euro 1 | 700 413 | 45 | 3 454 | 50 | 2,4 | | 56 | 12 | 8,1 | 20 |
| VP | essence | Euro 2 | 999 612 | 40 | 4 473 | 45 | 4,5 | | 53 | 14 | 7,6 | 30 |
| VP | essence | Euro 3 | 1 509 207 | 35 | 5 601 | 40 | 8,5 | | 50 | 16 | 7,2 | 40 |
| VP | essence | Euro 4 | 2 935 556 | 30 | 6 911 | 35 | 20 | | 49 | 18 | 7,1 | 50 |
| VP | essence | Euro 5 | 2 973 645 | 25 | 8 788 | 30 | 26 | | 41 | 20 | 6,0 | 60 |
| VP | essence | Euro 6 | 3 296 530 | 20 | 10 776 | 25 | 36 | | 40 | 22 | 5,8 | 70 |
| VP | essence | Euro 6c | 1 487 939 | 15 | 12 093 | 20 | 18 | | 41 | 24 | 5,9 | 80 |
| VP | essence | Euro 6d-TEMP | 1 102 822 | 10 | 12 601 | 15 | 14 | | 40 | 26 | 5,8 | 90 |
| VP | essence | Euro 6d | 1 358 051 | 5 | 13 145 | 10 | 18 | | 38 | 28 | 5,5 | 100 |
| VP | essence | Total | 16 445 133 | | 8 955 | 10 | 147 | 10 | 43 | | 6,2 | 0 |

La méthodologie a consisté à calculer le parc, le trafic, la consommation et les émissions en intégrant les incertitudes selon l'algorithme suivant :

1. Un premier tirage aléatoire est réalisé pour le nombre de véhicules avec les valeurs moyennes et incertitudes associées, par véhicule, motorisation et norme.
2. Un bouclage du parc est réalisé par type de véhicule, car celui-ci est connu par les données statistiques : tant que le parc calculé n'est pas dans l'intervalle d'incertitude du parc total par véhicule et motorisation, la simulation recommence à l'étape 1.
3. Un deuxième tirage aléatoire est réalisé pour les kilomètres annuels moyens parcourus avec les valeurs moyennes et incertitudes associées, par véhicule, motorisation et norme.
4. Ensuite, le trafic est calculé en multipliant le nombre de véhicules par les kilomètres annuels moyens. Un bouclage du trafic est réalisé par type de véhicule et motorisations essence, Diesel et toutes les motorisations (essence + Diesel + GPLc + GNV + Electrique), car celui-ci est connu par les données statistiques : tant que le trafic calculé n'est pas dans l'intervalle d'incertitude du trafic total par véhicule et motorisation (essence + Diesel +toutes les motorisations), la simulation recommence à l'étape 1.
5. Une fois le tirage du trafic calé, la simulation des consommations est réalisée. Pour cela un tirage aléatoire est fait sur les consommations unitaires. La multiplication du trafic par les consommations unitaires permet d'obtenir les consommations totales.
6. Un bouclage est réalisé sur les consommations totales par carburant : tant que la consommation calculée n'est pas dans l'intervalle d'incertitudes de la consommation totale, la simulation de consommation recommence à l'étape 3.

Les étapes 1 à 6 permettent d'avoir les tirages des trafics et des consommations calés sur les statistiques et leurs incertitudes respectives.

7. Une fois le tirage de la consommation calée, et par conséquent le trafic, les émissions de $CO_2$, $CH_4$ et de $N_2O$ sont estimées par véhicule, motorisation et norme euro à partir des valeurs moyennes et des incertitudes des facteurs d'émissions et soit à partir des tirages de la consommation pour le $CO_2$, soit à partir des trafics pour le $CH_4$ et le $N_2O$.
8. Les étapes 1 à 8 sont répétées jusqu'à convergence de l'incertitude des émissions totales.

L'incertitude des facteurs d'émission de $CO_2$ de l'essence et du gazole ont été calculée lors des mesures des facteurs d'émission spécifiques à la France. Ces mesures ont fourni une incertitude de 1 %. Pour le GNV et le GPLc, les incertitudes prises sont de 5 %.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission de $CH_4$ et de $N_2O$ sont fonction du type de véhicule, de la motorisation, et de la norme. Ceci est basé sur la littérature [1281] tenant compte de l'avis des experts sectoriels.

Cette simulation par la méthode de Monte Carlo a permis de mettre à jour les incertitudes sur les consommations de carburants et sur les émissions de gaz.

Ainsi, pour 15 000 simulations, les calculs donnent :

- une incertitude de 1,3 % et une de 1,9 % pour les émissions de $CO_2$ de 1990 et 2023 respectivement,
- une incertitude de 13,9 % et une de 9,0 % pour les émissions de $CH_4$ de 1990 et 2023 respectivement,
- une incertitude de 49 % et une de 18 % pour les émissions de $N_2O$ de 1990 et 2023 respectivement,

La Figure 82 montre les distributions des émissions de $CO_2$ (en Mt), de $CH_4$ (en kt) et de $N_2O$ (en kt) pour 15 000 simulations. Les valeurs moyennes et les incertitudes sont représentées par une ligne rouge verticale et des lignes vertes verticales respectivement.

**Figure 82 : Distributions des émissions de $CO_2$, $CH_4$ et $N_2O$ du transport routier**

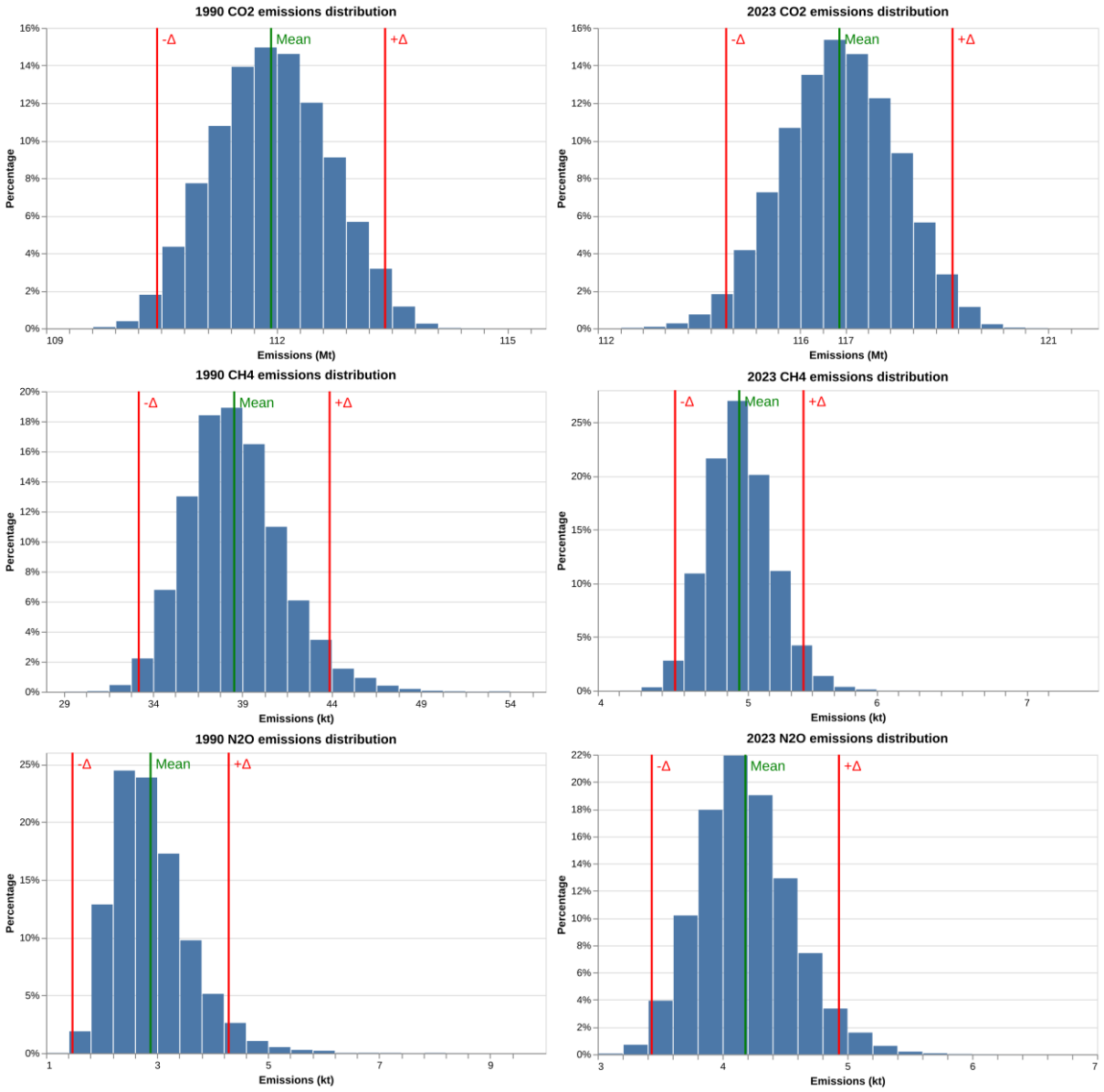
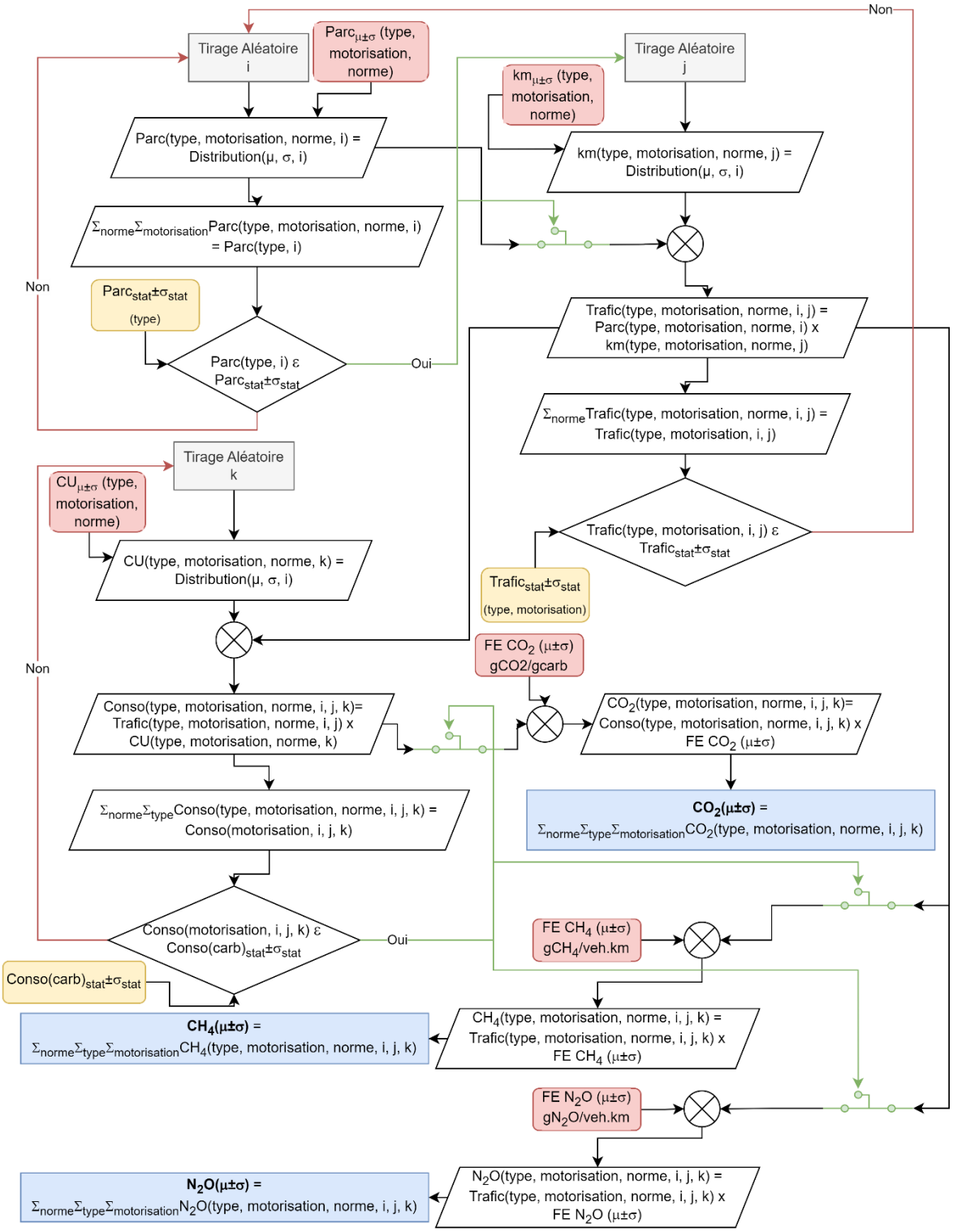


**Figure 83 : Schéma de la méthodologie de calcul des incertitudes des émissions GES du transport routier**




La cohérence temporelle des séries est respectée.

Pour les transports routiers, aériens et maritimes aucune rupture de continuité n'a été identifiée.

Pour les stations de compression, les déclarations individuelles par site sont utilisées à partir de 2005 alors qu'auparavant, des données globales étaient transmises par le groupe industriel (GDF). Les deux approches n'ont pas montré de rupture statistique.

### 3.2.7.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Des dispositions spécifiques sont aussi mises en place selon les sous-secteurs :

- les bilans énergétiques sont contrôlés,
- les émissions recalculées sont vérifiées ainsi que les tendances sur la série temporelle,
- pour le secteur aérien, une revue périodique des méthodologies utilisées est assurée par un groupe de travail placé sous l'égide de la DGAC,
- une validation indirecte des émissions de $CO_2$, pour les stations de compression, est effectuée par des organismes certifiés (désignés par le Ministère chargé de l'Environnement) dans le cadre du système d'échange de quota d'émissions (SEQE).

D'autre part, les statistiques recueillies entrent dans le champ de l'assurance qualité de l'organisme émetteur.

### 3.2.7.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 1.A.3.**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 121 908 | 132 082 | 140 371 | 141 726 | 133 180 | 134 346 | 132 652 | 132 299 | 131 855 | 133 401 | 133 629 | 133 732 | 131 091 | 130 420 | 109 636 | 123 628 | 127 979 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 123 224 | 133 317 | 141 739 | 142 322 | 133 939 | 135 114 | 133 435 | 133 060 | 132 615 | 134 148 | 134 532 | 134 441 | 131 860 | 131 114 | 110 233 | 124 343 | 128 635 | 123 431 |
| Différence | kt CO2e | +1 316 | +1 235 | +1 368 | +596 | +759 | +768 | +783 | +761 | +760 | +747 | +903 | +709 | +768 | +694 | +597 | +715 | +656 | +123 431 |
| | % | +1% | +1% | +1% | +0% | +1% | +1% | +1% | +1% | +1% | +1% | +1% | +1% | +1% | +1% | +0.54% | +1% | +1% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm / 1.A.3

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

#### 3.2.7.5.1 Transport aérien (1.A.3.a.)

**Description du recalcul**

- Mise à jour de la base trafic sur la série ;
- Ajustement des coefficients de consommations d'AvGas de quelques avions sur la série ;
  Mise à jour des facteurs d'émission de la base OACI.

**Raison et justification**

- Activité : Amélioration de l'exactitude ;
- Facteurs d'émission et de consommation : Amélioration de la comparabilité et de l'exactitude.

#### 3.2.7.5.2 Transport routier (1.A.3.b.)

**Description du recalcul**

Activité :

- Mise-à-jour des données d'activités :
  - Données d'immatriculations et parc par âge (données SDES / RSVERO) : série 2010 – 2023.
  - Bilan de la circulation (données SDES / RSVERO) ; trafics (véh.km), parcours annuels moyens (km), consommations, livraisons de carburants et consommations unitaires des véhicules immatriculés en France : série 1990-2023.
  - Taux d'incorporation des agro-carburants ; éthanol et EMAG : série 1992-2004.
- Amélioration des calculs de parc statique :
- Pour les véhicules particuliers, calage du parc statique français en différentiant les motorisation 100 % thermiques des hybrides avec les données RSVERO (2010-2023), i.e. calage par :
  - type de véhicule,
  - âge et,
  - type de motorisation : 100 % Diesel, Diesel hybride, Diesel hybride rechargeable, 100 % essence, essence hybride, et essence hybride rechargeable.

au lieu de :

- type de véhicule,
- âge et,
- type de motorisation : Diesel (y compris Diesel hybride), essence (y compris essence hybride), et hybrides rechargeables.

- Mise à jour des taux de survie pour tous les types de véhicules sur la période [2001-2009], afin d'améliorer la cohérence entre les deux bases de données de parc.

Révision des facteurs d'émissions (FE) CH4, notamment :

- Véhicules particuliers (VP) et véhicules utilitaires légers (VUL) essence ;
- VP et VUL diesel ;
- VUL GPL.

Les calculs d'émissions sont donc en cohérence avec la méthodologie de COPERT version 5.7.1 (i.e. la version du guide EMEP/EEA de septembre 2023), avec quelques mises à jour selon COPERT version 5.8.1 (i.e. la version du guide EMEP/EEA de septembre 2024).

**Raison et justification**

Activité : Amélioration de l'exactitude par la prise en compte de données plus récente.

#### 3.2.7.5.3 Transport ferroviaire (1.A.3.c.)

**Description du recalcul**

Activité :

- Nouvelles données de trafic pour l'année 2022 ;
- Mise à jour de données d'activité entre 2018 et 2022 ;

**Raison et justification**

Activité :

- Amélioration de la cohérence temporelle.

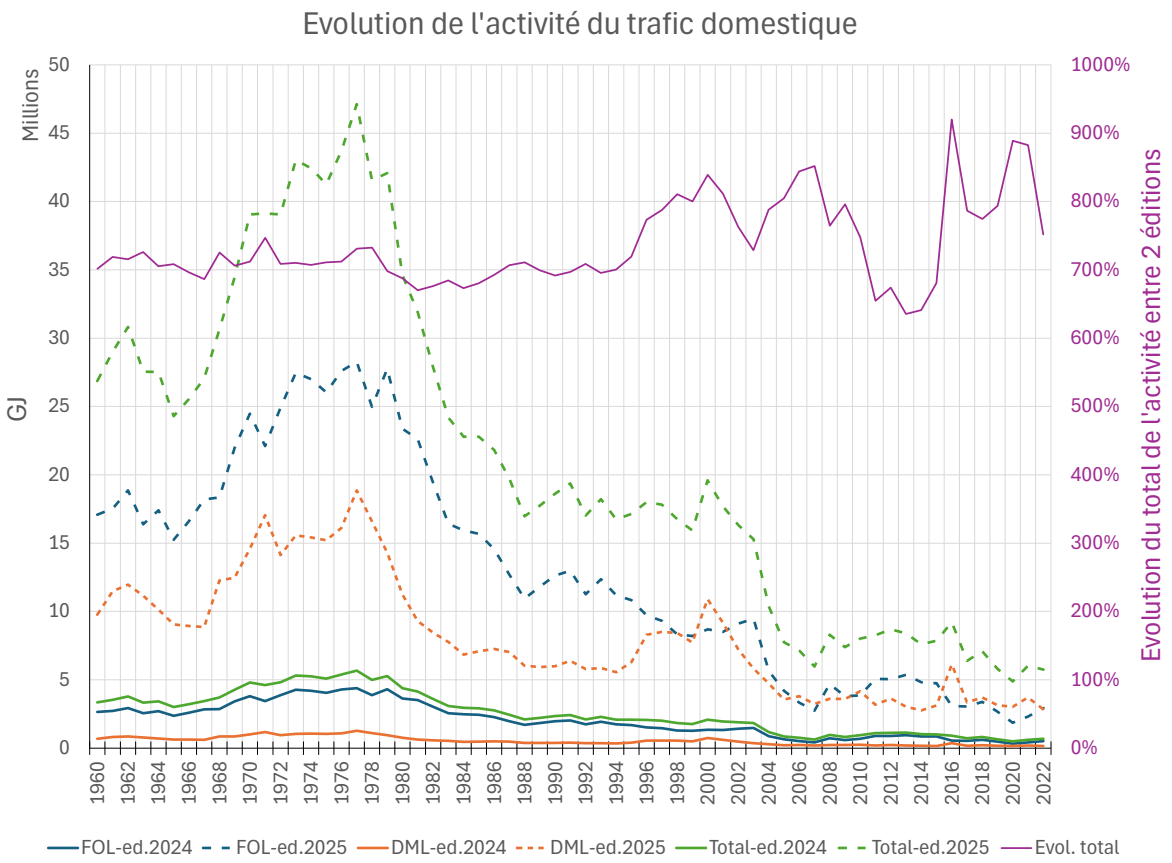
#### 3.2.7.5.4 Transport maritime et voie navigable (1.A.3.d.)

**Description du recalcul**

Activité :

- Plaisance :
  - Mise à jour des consommations par conséquence de la mise à jour des consommations dans les secteurs ferroviaires, des engins du résidentiel et de l'agriculture/forêt/aquaculture.
- Maritime :
  - Mise à jour du calcul de la répartition des consommations de carburants entre le trafic domestique et le trafic international

**Figure 84 : Comparaison de la consommation des carburants du trafic domestique avec les hypothèses de l'édition de mars 2024 et les hypothèses de l'édition de mars 2025.**




**Raison et justification**

- Mise à jour des activités : amélioration de l'exactitude.

### 3.2.7.5.5 Autres transports (1.A.3.e.)

Stations de compression du réseau de transport et de distribution du gaz (1.A.3.e.)

Pas de recalcul

## 3.2.7.6 Améliorations envisagées

Transport aérien :

Pas d'amélioration prévue.

Transport routier :

Suivi des mises à jour des données de parc, trafic et consommations (données SDES).

Transport ferroviaire :

Pas d'amélioration prévue.

Maritime, fluvial, plaisance :

Pas d'amélioration prévue.

Autres transports :

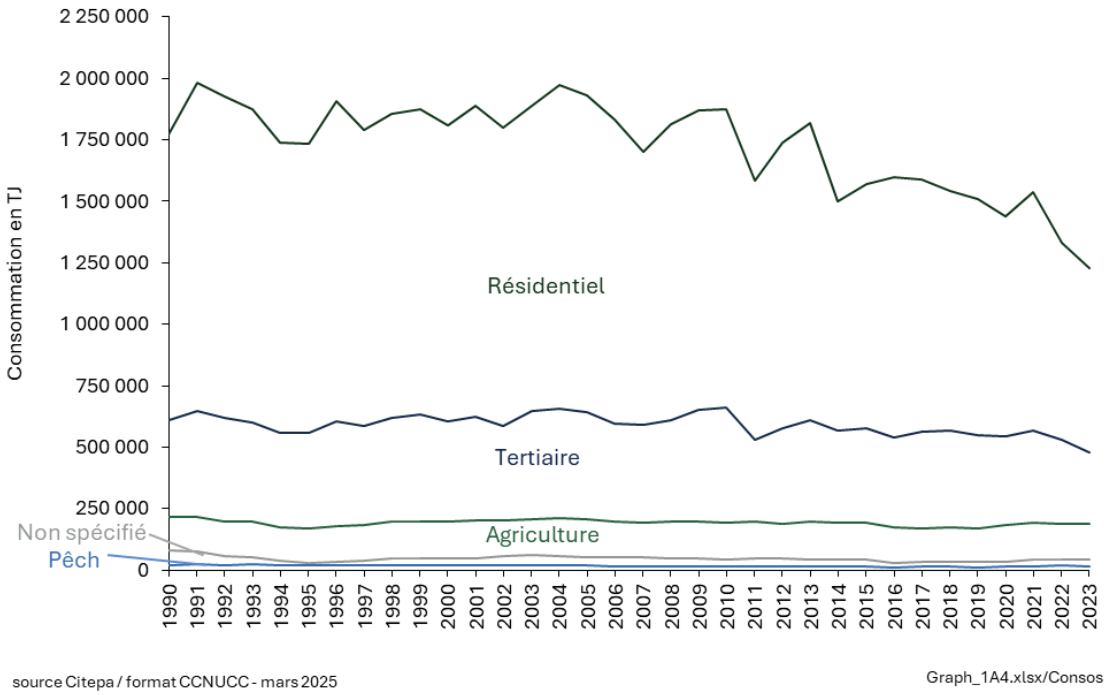
Pas d'amélioration prévue.

# 3.2.8 Autres secteurs (1A4)

## 3.2.8.1 Caractéristiques de la catégorie

Ce secteur regroupe les autres activités consommatrices d'énergie que sont les activités commerciale et tertiaire, le secteur résidentiel et l'agriculture/sylviculture/pêche. Les usages énergétiques de ces activités reposent pour une part importante sur le chauffage qui est directement lié à la rigueur climatique. Le graphique ci-dessous rappelle les consommations d'énergie de ce secteur. Les variations interannuelles illustrent les effets de la rigueur du climat.

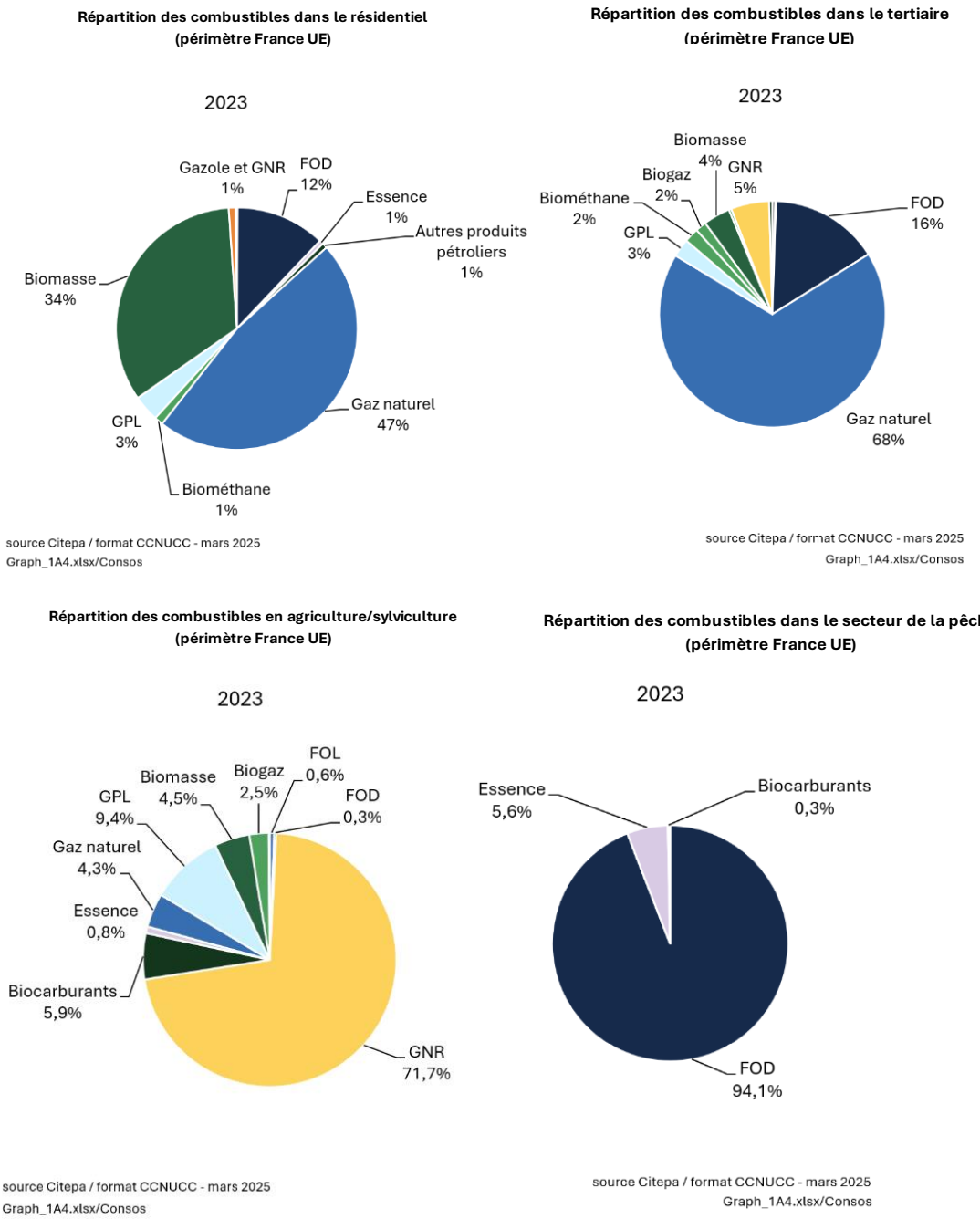
**Figure 85 : Consommation de combustibles dans les différents sous-secteurs (Périmètre France UE)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Graph_1A4.xlsx/Consos

**Figure 86 : Répartition des combustibles dans les sous-secteurs en 2023 (Périmètre France UE)**




Une tendance au recours accru au gaz naturel est observée depuis 1990, notamment dans les secteurs résidentiel et tertiaire.

Ce secteur se caractérise par un grand nombre de sources individuelles généralement de taille unitaire réduite mais qui couvre un domaine très étendu tant en ce qui concerne la nature que les conditions de fonctionnement de ces sources.

La grande diversité et le nombre important de sources conduisent à adopter une approche statistique dans la détermination des activités et des émissions à l'exception de quelques installations de taille importante qui peuvent faire l'objet d'estimations plus spécifiques.

Les activités prises en compte ici sont :

- les sources fixes (chaudières, inserts, poêles, etc.),
- les sources mobiles hors transports telles que tracteurs, groupes électrogènes, outils de jardinage mais aussi les bateaux de pêche.

En 2023, les différents sous-secteurs du CRT 1A4 qui sont catégories clés (hors UTCATF) en niveau d'émissions, ou en évolution d'émissions depuis 1990, sont les suivants :

**Tableau 78 : Substances et combustibles pour lesquelles le secteur 1A4 est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 1A4b - gas | $CO_2$ | 3ème | 5,3% | 9ème | 2,6% |
| 1A4a - gas | $CO_2$ | 7ème | 2,9% | 8ème | 2,7% |
| 1A4c - oil | $CO_2$ | 8ème | 2,6% | 21ème | 1,0% |
| 1A4b - oil | $CO_2$ | 9ème | 2,5% | 3ème | 5,7% |
| 1A4a - oil | $CO_2$ | 17ème | 1,3% | 7ème | 3,1% |
| 1A4b - biomass | $CH_4$ | 35ème | 0,5% | 30ème | 0,7% |
| 1A4b - coal | $CO_2$ | - | - | 34ème | 0,6% |
| 1A4a - coal | $CO_2$ | - | - | 33ème | 0,6% |

#### 3.2.8.1.1 Commercial/tertiaire (1A4a)

Cette section concerne les activités commerciales, institutionnelles et tertiaires consommatrices d'énergie. Les usages énergétiques de ces activités reposent pour une part importante sur la production de chaleur (chauffage) pour différents types de bâtiments (bureaux, commerces, hôpitaux, universités, *datacenters*, bâtiments collectifs d'habitation, *etc.*).

Enfin, les émissions liées aux zones aéroportuaires (hors aéronefs) ou aux ports maritimes (hors bateaux) sont aussi prises en compte dans ce secteur commercial/tertiaire. La distinction entre les installations fixes et mobiles n'est pas connue à ce jour ainsi toutes les émissions liées à ces sous-secteurs sont considérées dans le 1A4a.

#### 3.2.8.1.2 Résidentiel (1A4b)

Le secteur résidentiel est le plus important consommateur de biomasse par l'utilisation du bois de chauffage. Or, la combustion du bois est une source d'énergie émettrice de $CH_4$.

Les installations concernées par cette section sont essentiellement les suivantes :

- Sources fixes du secteur résidentiel : installations de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire et divers équipements ménagers (cuisson, agrément) ;
- Sources mobiles du secteur résidentiel : équipements de machinerie tels que les groupes électrogènes ou les outils de jardinage (tondeuses, débroussailleuses, etc.). Les engins de transport sont exclus de cette section et inclus dans les sections relatives aux modes de transport correspondants. Une partie de ces engins est utilisée à des fins professionnelles par des prestataires de service mais, dans l'ensemble, la plus grande partie se trouve employée par des particuliers et il est donc considéré que tous ces appareils font partie du secteur résidentiel.

#### 3.2.8.1.3 Agriculture/sylviculture/pêche (1A4c)

Les caractéristiques des combustibles pris en compte sont les caractéristiques moyennes par défaut décrites dans la section générale sur l'énergie.

***Sources fixes***

La consommation de combustibles fossiles et de biomasse des sources fixes agricoles est déterminée à partir du bilan de l'énergie produit annuellement par le SDES [1] pour la métropole. Pour la biomasse, une distinction supplémentaire est effectuée pour distinguer les équipements d'une puissance nominale inférieure à 1 MW de ceux d'une puissance nominale entre 1 et 20 MW, sur la base de données annuelles du CIBE [1211].

La part de biométhane consommé est retranchée de la consommation de gaz naturel à partir des données fournies dans le bilan de l'énergie [1].

D'autres sources statistiques sont disponibles pour l'Outre-mer [69]. La consommation de gaz de pétrole liquéfié (GPL) du secteur en Outre-mer est considérée en totalité dans les sources fixes.

***Sources mobiles : agriculture et sylviculture***

Les équipements mobiles dans les secteurs agricoles et sylvicoles sont supposés consommer la totalité du FOD, du GNR et de l'essence indiquée dans les bilans énergétiques du SDES [1]. La consommation totale de FOD en Outre-mer est également considérée pour les engins mobiles.

Les parcs de tracteurs agricoles, de moissonneuses et de motoculteurs sont issus du CPDP [14] et de l'Agreste [333]. Des évolutions dans les séries statistiques ont conduit à extrapoler le parc entre les années où des données sont disponibles (1988, 2000, 2005 et 2013).

Les parcs d'engins forestiers (tracteurs, débusqueuses, débardeuses) sont issus de plusieurs références [76, 77]. Il est également pris en compte un parc de tronçonneuses sur la base des données disponibles [72, 73] dans la proportion de respectivement 50% et 35% pour l'agriculture et la sylviculture. Le solde est supposé appartenir au secteur résidentiel / tertiaire. Les caractéristiques relatives à l'utilisation de ces engins sont déterminées à partir des données disponibles dans plusieurs sources [71, 75].

L'ensemble de ces hypothèses reste approximatif mais permet de déterminer des consommations d'énergie. Ces dernières sont consolidées grâce aux consommations fournies par les bilans énergétiques ce qui permet de s'affranchir, dans une certaine mesure, des risques de double compte dans les parcs de machines.

***Sources mobiles : pêche***

Le calcul est basé sur la détermination d'un parc de bateau de pêche par motorisation, par norme et par puissance effective, auquel il est attribué des heures de navigation afin d'obtenir un parc flottant en kWh. Cette distribution du parc flottant est ainsi appliquée aux données de consommation afin d'estimer les niveaux de polluants selon la méthode de rang 2. Les émissions de GES sont quant à elles obtenues en appliquant les facteurs d'émissions en g/GJ directement aux données de consommation pour chaque type de carburant.

*Détermination du parc statique de bateaux de pêche*

Les bateaux de pêche à moteur diesel sont classifiés selon :

- La norme d'émission dans le cadre de la convention MARPOL [1146, 1147] :
  - TIER 0 : les bateaux mis en marché avant 2000 ;
  - TIER I : les bateaux mis en marché entre 2000 et 2009 (inclus) ;
  - TIER II : les bateaux mis en marché entre 2010 et 2015 (inclus) ;
  - TIER III : les bateaux mis en marché à partir de 2016
- La motorisation : moteurs à haute vitesse (HSD) ou moteurs à moyenne vitesse (MSD).

Les bateaux de pêche naviguant à l'essence sont classifiés selon :

- La norme d'émission dans le cadre de la directive (UE) n° 2003/44 [1148] :
  - *Pre-control* : les bateaux mis en marché avant 2006 ;
  - *Stage I* : les bateaux mis sur le marché à partir de 2006.
- La motorisation : moteurs 2 temps et à 4 temps.

La répartition du parc statique, par puissance moteur et année de mise en service, est calculée à partir des données statistiques [1149]. Il en résulte un parc statique de navires par puissance moteur (kW), par motorisation et norme.

*Détermination du parc flottant de bateaux de pêche*

Le parc flottant est déterminé à partir du parc statique précédemment estimé, de la part inactive de navire et du nombre d'heures en mer des navires actifs.

A partir des statistiques [1150] la part inactive de bateaux et le nombre de jours en mer par type de navire sont estimés. Il en résulte un parc flottant de navires par motorisation, par norme et par puissance mise en jeu (kWh).

L'hypothèse de répartition constante entre 25% de bateaux à moteurs 2-temps et 75% à 4-temps est considérée pour les bateaux essence.

Une répartition en pourcentage des normes par motorisation est calculée pour répartir les consommations de carburants.

*Les ventes de carburants à destination des bateaux de pêche*

Pour la métropole, les consommations de carburants sont les suivantes :

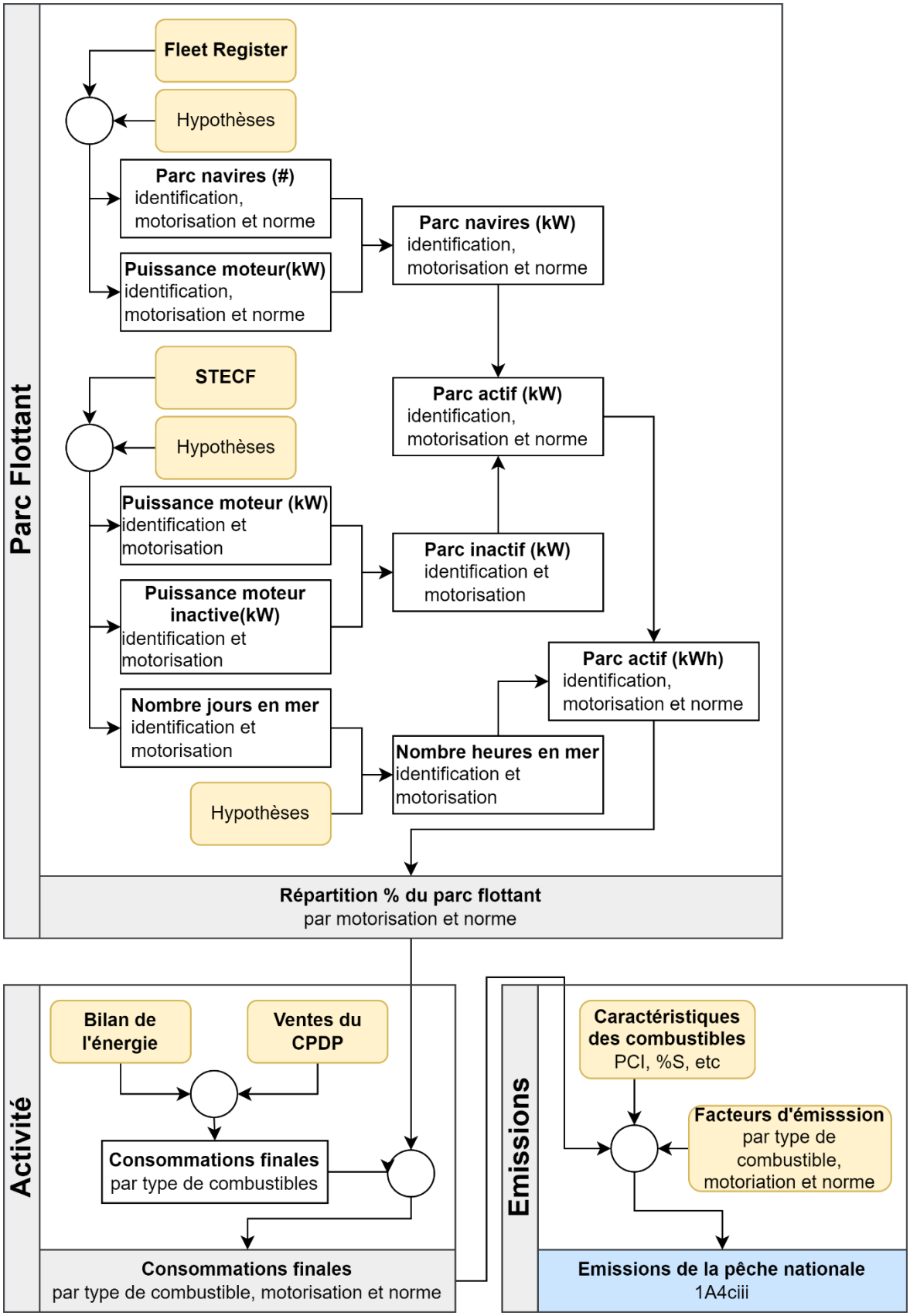
- Fioul lourd (FOL) : Les consommations sont issues du CPDP [14] qui fournit les consommations totales attribuées à la pêche. A noter que depuis 1997 il n'y a plus de ventes de FOL pour la pêche.
- Gazole pêche : Les consommations sont issues du bilan d'énergie de la France Métropolitaine [1].
- Essence : Les consommations sont issues du CPDP [14] qui fournit les consommations totales attribuées à la pêche.
- Lubrifiant : La consommation d'huile 2-temps mélangée et brulée avec l'essence est calculée en prenant en compte l'hypothèse d'un mélange à hauteur de 3 % en volume.

Pour les Départements-Régions d'Outre-mer (DROM), les consommations totales de combustibles (gazole et essence) sont établies selon le bilan d'énergie réalisé au Citepa [666].

La répartition en pourcentage du parc flottant obtenue auparavant (par motorisation et par norme) est appliquée aux consommations totales par type de combustible.

La pêche est affectée en totalité au périmètre national même si les zones de pêche s'étendent bien au-delà des eaux territoriales et des zones économiques exclusives (ZEE).

**Figure 87 : Logigramme du processus d'estimation des émissions de la pêche**



### 3.2.8.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponibles en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/methodologie-de-linventaire-ominea/

#### 3.2.8.2.1 Commercial/tertiaire (1A4a)

La méthode appliquée est de rang GIEC 2/3 pour les installations > 50 MW et de rang GIEC 1/2 pour les installations < 50 MW.

Les installations du secteur tertiaire sont distinguées en deux catégories :

- Installations de puissance supérieure à 50 MW : ces installations sont recensées individuellement chaque année dans le cadre de l'inventaire GIC (Grandes Installations de Combustion) [39] et leurs consommations sont donc connues de façon exhaustive ;

- Installations de puissance inférieure à 50 MW : les consommations de ces installations sont tirées du bilan national de l'énergie [1]. Une distinction supplémentaire est effectuée pour distinguer les équipements inférieurs à 1 MW pour la biomasse uniquement (déterminés à partir des données annuelles du CIBE [1211]).

Les sites industriels pratiquant l'équarrissage comme activité principale sont pris en compte dans le secteur tertiaire (en lien avec leur code APE), et non en industrie manufacturière.

Les consommations des installations tertiaires sont intégrées dans le secteur « Commercial et services publics » du bilan énergétique national [1]. Ce bilan n'englobe pas les consommations d'énergie liées aux activités de la Défense dont la décomposition en divers sous-produits est comprise dans le secteur « non spécifié » (1.A.5).

D'autres sources statistiques sont disponibles pour l'outre-mer [63][69].

Les données complémentaires disponibles dans les services en charge du bilan énergétique national [1] et publiées par le CPDP [14] permettent une distinction plus fine vis-à-vis de certains combustibles comme le gazole non routier (GnR), de la répartition entre secteurs résidentiel et tertiaire ainsi que parmi les usages (chauffage, eau chaude sanitaire, cuisson).

La part de biométhane consommée est retranchée de la consommation de gaz naturel à partir des données du bilan énergétique national annuel [1] et des publications annuelles du panorama du gaz renouvelable [1112].

Il est à noter que les consommations d'énergie de ce secteur sont directement liées à la rigueur climatique.

***Émissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie). Une vérification de la cohérence des émissions ainsi estimées avec les émissions déclarées par les quelques sites soumis à quotas est réalisée.

***Émissions de $CH_4$***

Les émissions de $CH_4$ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

***Émissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

#### 3.2.8.2.2 Résidentiel (1A4b)

La méthode appliquée est de rang GIEC 1/2.

***Sources mobiles***

Les équipements mobiles dans le secteur résidentiel consommateurs d'énergie fossile sont nombreux et divers. Leur identification et leur dénombrement sont délicats car il n'existe pas de statistique spécifique et fiable concernant les parcs et les consommations d'énergie.

A partir des données disponibles sur les ventes [72][73], de caractéristiques d'utilisation de ces équipements [71] et de diverses hypothèses relatives à l'importation et à l'exportation, à l'utilisation des tailles d'équipements dans le secteur visé, etc., les parcs des

engins et leurs consommations sont estimées pour l'année 1990. Pour les années suivantes, l'évolution des consommations est ajustée proportionnellement à l'évolution de la population métropolitaine française. Il est fait l'hypothèse que la consommation de gazole est le fait de groupes électrogènes et que la consommation d'essence est principalement le fait de groupes électrogènes et d'engins de jardinage.

Compte tenu des approximations importantes, il est fait l'hypothèse que tous les équipements considérés dans cette section appartiennent au secteur résidentiel et qu'aucun n'appartient au secteur tertiaire. Cette hypothèse n'engendre pas d'erreur autre qu'un biais dans la répartition des sous-secteurs, supposé relativement faible car la majeure partie de ces équipements est utilisée par des particuliers.

***Sources fixes***

Les consommations des installations résidentielles sont intégrées dans le secteur « résidentiel » du bilan énergétique national [1]. D'autres sources statistiques sont disponibles pour l'outre-mer [63][69].

Les données complémentaires disponibles dans les services en charge du bilan énergétique national [1] et publiées par le CPDP [14] permettent une distinction plus fine vis-à-vis des combustibles, notamment pour la gazole non routier (GnR), de la répartition entre secteurs résidentiel et tertiaire ainsi que parmi les usages (chauffage, eau chaude sanitaire, cuisson).

L'estimation des émissions liées à l'usage du bois dans les appareils domestiques individuels est réalisée à l'aide d'une méthodologie spécifique permettant la prise en compte de la diversité des appareils domestiques de chauffage au bois. En effet, les facteurs d'émission varient fortement d'un type d'équipement à un autre, c'est pourquoi les émissions de ce secteur sont calculées à partir d'un parc d'équipements. Ce parc est estimé, d'une part, à partir de données du CEREN et de l'INSEE [421] proposant des distributions d'équipements au regard de certaines années et, d'autre part, des données de ventes d'équipements fournies par Observ'ER [422]. La part spécifique de consommation des granulés de bois (généralement moins émissifs) est en forte hausse et est prise en compte à partir de l'année 2004 [1]. La répartition des consommations selon le type d'appareil est présentée dans la base de données OMINEA.

La part de biométhane consommée est retranchée de la consommation de gaz naturel à partir des données du bilan énergétique national annuel [1] et des publications annuelles du panorama du gaz renouvelable [1112].

Il est à noter que les consommations d'énergie de ce secteur sont directement liées à la rigueur climatique.

***Émissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie 3.2.3.2).

***Émissions de $CH_4$***

*Sources fixes*

Les émissions de $CH_4$ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

Pour la combustion du bois domestique, des facteurs d'émission spécifiques sont utilisés selon le type d'appareils et selon leurs performances, déterminés à partir de plusieurs études françaises et des lignes directrices EMEP/EEA [67][1213] :

**Tableau 79 : Facteurs d'émission $CH_4$ des appareils domestiques au bois**

| Bois | Période d'installation des appareils | FE $CH_4$ (g/GJ) | Source |
|---|---|---|---|
| Chaudières - bûches | Dites « anciennes » (jusqu'en 2009) | 330 | [67] |
| | Dites « récentes » (à partir de 2005 et jusqu'en 2020) | 100 | [67] |
| | Dites « performantes » (à partir de 2015) | 17 | [67] |
| Poêles, inserts et cuisinières - bûches | Dits « anciennes » (jusqu'en 2009) | 530 | [67] |
| | Dits « récentes » (à partir de 2005 et jusqu'en 2020) | 223 | [1213] |
| | Dits « performantes » (à partir de 2015 et jusqu'en 2022) | 151 | [1213] |
| | Dits « écoconception » (à partir de 2022) | | |
| Foyers ouverts - bûches | Pas de distinction de performance | 565 | [67] |
| Chaudières - granulés | Pas de distinction de performance | 17 | Assimilé bûches |
| Poêles - granulés | Pas de distinction de performance | 151 | |

Les facteurs d'émission moyens résultant de la modélisation du parc national d'appareils domestiques au bois sont présentés dans la base de données OMINEA disponible en annexe électronique.

*Sources mobiles*

Les émissions de $CH_4$ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [645] et spécifiques à la nature du carburant (essence et gazole) et au type d'engin (2 temps et 4 temps pour les engins à essence).

***Émissions de $N_2O$***

*Sources fixes*

Les émissions de $N_2O$ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

*Sources mobiles*

Les émissions de $N_2O$ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [645] et spécifiques à la nature du carburant (essence et gazole) et au type d'engin (2 temps et 4 temps pour les engins à essence).

#### 3.2.8.2.3 Agriculture/sylviculture (1A4c)

La méthode appliquée est de rang GIEC 1/2.

***Émissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie). Ces facteurs sont appliqués uniformément à toutes les installations et à tous les types d'engins.

***Émissions de $CH_4$***

Pour les sources fixes, les émissions de $CH_4$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par combustible issus des lignes directrices du GIEC 2006 [646], sauf pour la combustion du bois qui est estimée à partir des facteurs d'émissions fournie par une étude ADEME [285].

Pour les sources mobiles, les émissions des engins diesel sont déterminées au moyen de facteurs d'émission recalculés à partir des différents engins et des caractéristiques associées [71, 142]. Les facteurs d'émission moyens varient en fonction du temps avec l'évolution du parc et des technologies des engins, et sont basés sur les facteurs d'émission Tier 3 proposés par le guidebook EMEP/EEA [1076]. Pour les engins essence, les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par combustible issus des lignes directrice du GIEC 2006 [645]. De plus, dans les engins mobiles, la combustion souvent imparfaite conduit principalement au rejet de COVNM.

**Tableau 80 : Facteurs d'émission du $CH_4$ par gamme et par norme d'engin diesel**

| g/GJ | Pré-Directive | Stage I | Stage II | Stage IIIa | Stage IIIb | Stage IV | Stage V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tracteurs agricoles | 3,4 | 1,3 | 1,0 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Automoteurs télescopiques | 3,2 | 1,2 | 0,9 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | 0,3 |
| Moissonneuses batteuses | 1,2 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Ensileuses automotrices | 1,1 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Epandeur de lisier | 5,6 | 5,6 | 5,6 | 5,6 | 5,6 | 5,6 | 1,5 |
| Motoculteurs, motofaucheuses… | | | | | | | 1,7 |
| Presses à grosses balles | | | | | | | 1,5 |
| Pulvérisateurs automoteurs | | | | | | | 1,5 |
| Récolteuses de maïs automotrices | | | | | | | 1,5 |
| Tracteurs forestiers | 1,2 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Débusqueuses | 3,0 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Débardeuses | 3,7 | 1,4 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,3 |

***Émissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ sont déterminées au moyen des facteurs d'émission par combustible des lignes directrices du GIEC 2006 pour les sources fixes [646] et les sources mobiles [645].

***Émissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

#### 3.2.8.2.4 Pêche (1A4c)

Pour l'estimation des émissions de $CO_2$, la méthode appliquée est de rang GIEC 2 (avec des facteurs d'émission de $CO_2$ nationaux spécifiques).

Pour l'estimation des émissions de $CH_4$ et $N_2O$, la méthode appliquée est de rang GIEC 1.

***Émissions de $CO_2$***

Les facteurs d'émission retenus sont les valeurs spécifiques françaises par défaut, cf. section générale énergie.

***Émissions de $CH_4$***

Les émissions de $CH_4$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par combustible issus des lignes directrices du GIEC 2006 [669] appliquées uniformément à tous les navires et toutes les années. Ces valeurs sont égales à 5,2 g/GJ pour l'essence, à 7,0 g/GJ pour le gazole et le fioul lourd.

***Émissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par combustible issus des lignes directrices du GIEC 2006 [669], appliqués uniformément à tous les navires et toutes les années. Ces valeurs sont égales à 1,8 g/GJ pour l'essence et à 2 g/GJ pour le gazole et le fioul lourd.

### 3.2.8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par Tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes de la catégorie 1A4 est effectuée au 3ème niveau de la catégorie (i.e. 1A4) en fonction du type de combustible.

Les incertitudes des données d'activité sont basées sur les lignes directrices du GIEC [IPCC – Guidelines 2006 – Volume 2 – Chapitre 2 Combustion sources mobiles, Table 2.15] tenant compte l'avis des experts sectoriels. Ainsi, ces incertitudes reflètent le fait que les activités de ce secteur sont plutôt bien suivies par les organismes statistiques, sa valeur est de 5 % par catégorie de combustible.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission de $CO_2$ sont basées sur des estimations d'experts, tenant compte les variations du facteur d'émission moyen. Cette incertitude est de 2 %.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission de $CH_4$ et de $N_2O$ sont de 100 % par type de combustible. Pour le $CH_4$, ceci est basé sur les lignes directrices du GIEC [IPCC – Guidelines 2006 – Volume 2 – Chapitre 2 Combustion sources mobiles, Table 2.12] tenant compte l'avis des experts sectoriels. Pour le $N_2O$, les lignes directrices du GIEC n'informent pas les incertitudes des facteurs d'émission. Ainsi, l'avis des experts sectoriels a été pris en compte considérant que les incertitudes pour le $CH_4$ et le $N_2O$ sont plus élevées, car elles reflètent l'utilisation de facteurs par défaut (provenant des lignes directrices du GIEC).

Concernant la cohérence temporelle des séries, les consommations de combustibles sont cohérentes avec les données du bilan de l'énergie produit par le SDES sur l'ensemble de la période.

### 3.2.8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Des dispositions particulières sont aussi mises en œuvre :

- une validation distincte est mise en place pour l'inventaire des GIC (pour le commercial/tertiaire),
- une vérification de la cohérence des émissions ainsi estimées avec les émissions déclarées par les sites soumis à quotas (secteur commercial/tertiaire) est réalisée,
- le bilan énergétique est vérifié spécifiquement,
- les émissions recalculées et la cohérence des séries temporelles sont vérifiées.

D'autre part, les statistiques recueillies entrent dans le champ de l'assurance qualité des organismes émetteurs.

### 3.2.8.5 Recalculs

**Impacts des recalculs du CRT 1A4**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 98 274 | 97 153 | 101 624 | 108 184 | 101 185 | 81 827 | 81 745 | 81 264 | 78 060 | 75 719 | 73 546 | 75 583 | 63 691 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 98 422 | 97 302 | 101 774 | 108 328 | 101 730 | 82 383 | 82 978 | 82 545 | 79 345 | 77 115 | 74 635 | 77 330 | 66 011 | 58 964 |
| Différence | kt CO2e | +148 | +149 | +150 | +144 | +544 | +555 | +1 233 | +1 281 | +1 285 | +1 396 | +1 089 | +1 747 | +2 320 | +58 964 |
| | % | +0% | +0% | +0% | +0% | +1% | +1% | +2% | +2% | +2% | +2% | +1,48% | +2% | +4% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /1.A.4

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

### 3.2.8.5.1 Commercial/tertiaire (1A4a)

**Description des recalculs**

Variations de consommations liées à la mise à jour du traitement du bilan énergétique national :

- Hausse du charbon sur toute la période (NAPFUE 102) ;
- Hausse du FOD/gazole sur 2013-2015, 2017, 2020, 2022 et baisse sur 2011-2012, 2016, 2018-2019 et 2021 ;
- Baisse du GPL (NAPFUE 303) sur 2011-2017, sur 2019-2021 et hausse sur 2018 et 2022 ;
- Hausse du gaz naturel (NAPFUE 301) sur 2006-2020 et baisse sur 2021-2022 ;
- Baisse du biogaz (NAPFUE 309) sur 2013-2022 ;
- Mise à jour des données CIBE via référence [17] sur 2021 et 2023 ;
- Mise à jour de la consommation de biomasse : légers changements sur 2021 et 2022.

Ajout de la consommation des graisses animales des sites d'équarrissage, identifiées à partir de l'année 2013 à partir des déclarations SEQE.

$CO_2$ : mise à jour avec impact minime de la proportion du biométhane sur l'année 2023.

$CO_2$ biomasse : Changement de FE du biogaz (NAPFUE 309) à 95 kg/GJ : hausse des émissions sur toute la période.

**Raison et justification**

Amélioration de l'exactitude des données et de la cohérence temporelle.

### 3.2.8.5.2 Résidentiel (1A4b)

**Description des recalculs**

Evolution des consommations provenant du bilan énergétique national :

- Hausse sur FOD/Gazole (NAPFUE 204/205/25B) sur 2011-2012 et 2016-2019 et 2021, baisse sur 2013-2015 et 2020 et 2022 ;
- Légère hausse sur le pétrole lampant (NAPFUE 206) sur 2011-2019 et 2021 (NAPFUE 206) et légère baisse sur 2020 ;
- Légère hausse du GPL (NAPFUE (303) en 2012-2013 et 2015-2016 et 2021-2022, légère baisse sur 2011, 2014 et 2017-2020.

Mise à jour des consommations énergétiques via le bilan énergétique national : légères baisses de consommation de bois bûche sur 2018-2022.

$CH_4$ : A partir de 2004, impact des différents changements méthodologiques avec hausse des émissions de méthane : prise en compte de l'ENL 2020 et notamment appareils anciens (poêles et inserts) conservés plus longtemps dans le parc jusqu'en 2020 et au-delà. Hausse des FE des appareils dits "récents" et dits "performants" en lien avec la prise en comptes des études récentes de l'Ineris (notamment AFAC 2015 et IDENTECH 2016).

**Raison et justification**

Amélioration de l'exactitude des données et de la cohérence temporelle.

### 3.2.8.5.3 Agriculture/sylviculture/pêche (1A4c)

**Description des recalculs**

- 1A4ci – agriculture/sylviculture – sources fixes :

Pour la partie consommations :

- Métropole : mise à jour des consommations de gaz naturel provenant du bilan de l'énergie national pour 2011-2023 (à la baisse de 2494 TJ en 2022) ; légères révisions des consommations de biogaz allouées au secteur agricole pour 2011-2023. De plus, les taux d'incorporation de biométhane dans le gaz naturel ont été marginalement modifiés sur 2022 ;

- Outre-mer inclus dans l'UE : aucune révision.

Pour la partie émissions : révision du FE $CO_2$ du biogaz sur toute la série (ancien FE : 54.6 kg/GJ, nouveau FE : 95.4 kg/GJ). Par conséquent, les émissions $CO_2$ de biogaz sont 1,7 fois plus élevées que la version précédente.

- 1A4cii – agriculture/sylviculture – sources mobiles :

Pour la partie consommations :

- Métropole : révision de la consommation de fioul domestique (FOD) et gazole non routier (GNR), à la baisse pour 2022 (-4536 TJ) ;

- Outre-mer inclus dans l'UE : RAS .

Pour la partie émissions : aucune révision des facteurs d'émission

- 1A4ciii – pêche :

- Métropole : révision à la baisse de la consommation de fioul domestique (FOD) entre 2018 et 2022 (-5 % en moyenne).
- Outre-mer inclus dans l'UE : RAS

**Raison et justification**

Amélioration de l'exactitude des données et de la cohérence temporelle.

#### 3.2.8.6 Améliorations envisagées

Pas d'amélioration particulière envisagée.

## 3.2.9 Non spécifiés (1A5)

### 3.2.9.1 Caractéristiques de la catégorie

En 2023, les différents sous-secteurs du CRT 1A5 qui sont catégories clés (hors UTCATF) en niveau d'émissions, ou en évolution d'émissions depuis 1990, sont les suivants :

**Tableau 81 : Substances pour lesquelles le secteur 1A5 est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 1A5a | $CO_2$ | 30ème | 0,6% | 41ème | 0,5% |

#### 3.2.9.1.1 Non Spécifié - Sources fixes (1A5a)

Les installations concernées par cette section sont essentiellement les suivantes :

- Sources fixes : installations de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire et divers équipements ;
- Sources mobiles : consommations d'essence (EMNR), de kérosène et d'essence aviation.

#### 3.2.9.1.2 Non Spécifié – Sources mobiles (1A5b)

Par souci de confidentialité, toutes les consommations et émissions du 1A5b sont incluses dans le 1A5a.

### 3.2.9.2 Méthode d'estimation des émissions

Les consommations prises en compte ici sont celles intégrées dans le secteur « Autres non spécifiés » du bilan énergétique national [1]. Ces consommations concernent du fioul lourd, du fioul domestique, du gaz naturel, du gaz de pétrole liquéfié, du kérosène et de l'essence aviation.

Aucune consommation n'est considérée pour l'Outre-mer.

La part de biométhane consommée est retranchée de la consommation de gaz naturel à partir des données du bilan énergétique national annuel [1] et des publications annuelles du panorama du gaz renouvelable [1112] (cf. section générale énergie).

En fonction des combustibles, il est possible d'attribuer les consommations pour des sources fixes (chaudières, moteurs, etc...) ou des sources mobiles (véhicules militaires terrestres non routier, aviation).

Les consommations d'essence aviation (Avgas) et de kérosène sont séparées en 2 sous-catégories, correspondant aux phases de LTO et aux phases de croisière. Pour cela, les répartitions des consommations LTO et croisière de l'aviation civile en métropole sont appliquées aux consommations du bilan de l'énergie [1].

**Tableau 82 : Répartition des consommations par phase de l'aviation**

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

A ces consommations sont appliqués les facteurs d'émission moyens de l'aviation civile de la métropole par type de phase et par combustible.

***Emissions de $CO_2$***

*Sources fixes*

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie) ou par défaut et issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

*Sources mobiles*

EMNR : Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie) ou par défaut et issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

Aviation : cf. 1.A.3.a

***Emissions de $CH_4$***

*Sources fixes*

Les émissions de $CH_4$ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

*Sources mobiles*

EMNR : Les émissions de $CH_4$ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices 2023 EMEP/EEA [1128] et spécifiques à la nature du carburant (essence) et au type d'engin (4 temps).

Aviation : cf. 1.A.3.a

***Emissions de $N_2O$***

*Sources fixes*

Les émissions de $N_2O$ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

*Sources mobiles*

EMNR : Les émissions de $N_2O$ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices 2023 EMEP/EEA [1128] et spécifiques à la nature du carburant (essence) et au type d'engin (4 temps).

Aviation : cf. 1.A.3.a

### 3.2.9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par Tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes de la catégorie 1A5 est effectuée au 3ème niveau de la catégorie (i.e. 1A5) en fonction du type de combustible.

Les incertitudes des données d'activité sont basées sur les lignes directrices du GIEC [IPCC – Guidelines 2006 – Volume 2 – Chapitre 2 Combustion sources mobiles, Table 2.15] tenant compte de l'avis des experts sectoriels. Ainsi, ces incertitudes reflètent le fait que les activités de ce secteur sont plutôt bien suivies par les organismes statistiques, sa valeur est de 5 % par catégorie de combustible.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission de $CO_2$ sont basées sur des estimations d'experts, tenant compte des variations du facteur d'émission moyen. Cette incertitude est de 2 %.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission de $CH_4$ et de $N_2O$ sont de 100 % par type de combustible. Pour le $CH_4$, ceci est basé sur les lignes directrices du GIEC [IPCC – Guidelines 2006 – Volume 2 – Chapitre 2 Combustion sources stationnaires, Table 2.12] tenant compte de l'avis des experts sectoriels. Pour le $N_2O$, les lignes directrices du GIEC n'informent pas les incertitudes des facteurs d'émission. Ainsi, l'avis des experts sectoriels a été pris en compte considérant que les incertitudes pour le $CH_4$ et le $N_2O$ sont plus élevées, car elles reflètent l'utilisation de facteurs par défaut (provenant des lignes directrices du GIEC).

Concernant la cohérence temporelle des séries, les consommations de combustibles sont cohérentes avec les données du bilan de l'énergie produit par le SDES sur l'ensemble de la période.

### 3.2.9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Des dispositions spécifiques sont mises en œuvre pour ce secteur de l'énergie :

- la cohérence globale avec le bilan de l'énergie national est vérifiée,
- les émissions recalculées et la cohérence des séries temporelles sont vérifiées.

### 3.2.9.5 Recalculs

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 4 499 | 598 | 1 972 | 2 644 | 2 274 | 2 051 | 1 356 | 1 333 | 1 479 | 1 473 | 1 325 | 1 945 | 1 980 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 4 499 | 598 | 1 972 | 2 644 | 2 274 | 2 079 | 1 384 | 1 362 | 1 507 | 1 501 | 1 325 | 1 945 | 1 980 | 2 117 |
| Différence | kt CO2e | +0,30 | +0,034 | +0,12 | +0,057 | +0,027 | +28 | +28 | +28 | +28 | +28 | +0,0098 | +0,021 | +0,030 | +2 117 |
| | % | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +1% | +2% | +2% | +2% | +2% | +0,00% | +0% | +0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /1.A.5

Mise à jour du bilan énergétique national : ajustements des consommations de fioul lourd à la hausse sur 2011-2019 (NAPFUE 203).

$CO_2$ : correction mineure de la proportion de biométhane dans le gaz naturel sur l'année 2022.

$CH_4$, $N_2O$ : Correction de certains facteurs d'émission du NAPFUE 28B désormais variable avec l'évolution du PCI du bio-essence.

#### 3.2.9.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration particulière n'est envisagée à l'heure actuelle pour ce secteur, si ce n'est continuer l'affinage de la méthodologie sur la prise en compte des consommations provenant du bilan de l'énergie.

# 3.3 Émissions fugitives des combustibles (CRT 1B)

Cette catégorie regroupe les émissions fugitives des activités d'extraction, de traitement et éventuellement de distribution des combustibles solides (charbon), liquides (pétrole et produits pétroliers) et gazeux (gaz naturel).

Le tableau suivant présente les sous-secteurs étant des catégories clés.

**Tableau 83 : Substances pour lesquelles le secteur 1B est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 1B1a | $CH_4$ | - | - | 13ème | 1,8% |
| 1B2a | $CO_2$ | 41ème | 0,3% | 46ème | 0,4% |
| 1B2b | $CO_2$ | - | - | 58ème | 0,3% |

## 3.3.1 Combustibles solides (1B1)

### 3.3.1.1 Caractéristiques de la catégorie

#### 3.3.1.1.1 Extraction du charbon (1B1a)

L'activité minière est à l'origine d'émissions de méthane (composant majoritaire du gaz de mine ou grisou).

Les rejets de $CH_4$ contenu dans le gaz de mine ou grisou proviennent :

- Du dégazage naturel de la mine (mines à ciel ouvert dites « découvertes »),
- De l'aération de la mine et de la fraction de gaz de mine non captée (mines souterraines),
- Du dégazage lors du stockage du charbon après extraction.

L'activité minière est recensée pour chaque site [52]. En France l'activité d'extraction a fortement décru au cours des dernières décennies, puis cessé totalement en 2002 pour les mines à ciel ouvert et en 2004 pour les mines souterraines.

La formation du $CH_4$ dans les mines dépend des caractéristiques des veines exploitées. Certaines mines non grisouteuses ne sont pas émettrices. Les émissions se poursuivent après la fin de l'exploitation.

Les émissions de $CH_4$ de l'après mine (après la cessation de l'activité d'extraction dans les mines souterraines) sont prises en compte dans ce sous-secteur à partir de 2004. Avant cette date, ces émissions sont agrégées avec celles de l'extraction. Ces fuites de méthane sont faibles et se réduisent progressivement.

Concernant la « production » de charbon indiquée dans l'approche de référence, celle-ci correspond en fait à des tas de stockage (terrils) non utilisés pour lesquels les émissions de l'extraction ont déjà été considérées (l'année de leur extraction).

Les émissions de cette catégorie concernent uniquement la France métropolitaine, il n'y a pas de mines de charbon dans les territoires d'Outre-mer.

#### 3.3.1.1.2 Transformation des combustibles minéraux solides (1B1b)

Cette section est dédiée aux émissions se produisant au cours des phases d'extinction et au défournement lors de la production de coke (fuites aux portes) au sein des cokeries minières et sidérurgiques. Les émissions liées à la combustion sont traitées en section « 1A1c - solid fuel transformation ».

En France, la transformation de combustibles solides est pratiquement circonscrite à la production de coke dans les cokeries minières et les cokeries sidérurgiques. La liquéfaction, la gazéification et la production de combustibles défumés sont inexistantes ou marginales. L'activité minière hors cokerie est également rapportée dans cette catégorie. Le dernier bassin a cessé toute exploitation en 2004.

Il n'existe plus de cokerie minière en France depuis fin 2009. Trois cokeries sidérurgiques (i.e. au sein des sites intégrés de fabrication d'acier) existaient jusqu'en mai 2020 en France. A partir de 2021, seules deux cokeries sidérurgiques sont recensées.

#### 3.3.1.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant : https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/ominea.

##### 3.3.1.2.1 Extraction du charbon (1B1a)

La méthode appliquée est de rang GIEC 2 ou 3 pour la période d'activité extractive (jusqu'en 2004), et 2 pour la période après-mine, à compter de 2005.

***Émissions de $CO_2$***

Pas d'émission attendue.

***Émissions de $CH_4$***

*Période pré-2004*

Les hypothèses suivantes sont faites :

Le charbon importé a dégazé en totalité avant de parvenir sur le territoire national. Il est en effet impossible de connaître le temps de séjour de ce charbon hors de France. Cette hypothèse est minorante en valeur absolue mais préserve actuellement les engagements nationaux de limitation et de réduction des émissions dans la mesure où les quantités de charbon consommées se réduisent au fil des années. En effet, la baisse des émissions qui en résulterait n'est pas prise en compte.

Le charbon produit en France dégaze en totalité avant de parvenir à l'utilisateur. En conséquence, aucune émission de $CH_4$ liée au stockage et à la manutention n'est affectée aux secteurs consommateurs. Les émissions sont géographiquement attachées aux sites miniers. Cette hypothèse a un impact d'autant plus faible que l'on considère une année proche de 2004, date à laquelle toute activité d'extraction a cessé. Les données de base exploitées pour cette partie proviennent d'une étude réalisée par l'INERIS [160].

L'activité étant connue par site, la spatialisation des émissions est relativement aisée, bien que les émissions diffuses puissent être de fait moins précisément localisées.

Les émissions de $CH_4$ lors de l'exploitation étaient déterminées jusqu'en 2004 chaque année pour chaque bassin par CdF à partir des caractéristiques des veines exploitées (grisouteuses ou non) [159]. Des fluctuations importantes sont donc observées d'une année à l'autre. Il n'y a plus d'exploitation de mines de charbon en France depuis avril 2004.

Cette estimation englobe aussi le dégazage lié à la ventilation des galeries après la fin d'exploitation à l'exception des quantités captées et valorisées.

*Période post 2004*

Après la fin d'exploitation, les mines de charbon grisouteuses continuent de rejeter du méthane à l'atmosphère via notamment les exutoires. Il est donc nécessaire d'estimer les émissions de l'« après-mine ». Le BRGM, et plus particulièrement le DPSM (Département Prévention et Sécurité Minière), est en charge de la problématique de l'après-mine et notamment de la surveillance des émissions des anciennes mines.

Les débits des exutoires sont mesurés par le BRGM. Cependant, ceux-ci sont très faibles et très variables en fonction de la localisation et de la pression atmosphérique. De plus, la teneur en méthane du gaz de mine est également très variable d'un point de rejet à un autre.

A l'aide de ces différentes données, le BRGM, a élaboré une estimation des rejets de méthane à l'air libre pour l'ensemble des anciennes mines [377].

Ces émissions sont variables d'une année à l'autre en fonction des caractéristiques des mines mais diminuent progressivement au cours du temps après la fin d'exploitation des mines. Un processus de mise à jour, a priori annuel, est effectué. Cependant, en l'absence d'actualisation des données par le BRGM pour les années 2022 et 2023, les émissions de 2021 ont été reportées.

Les facteurs d'émission calculés ont principalement une utilité fonctionnelle puisque les émissions ne sont pas proportionnelles à la production (on peut obtenir des facteurs d'émission de valeur infinie lorsque l'émission est rapportée à une production nulle).

***Émissions de $N_2O$***

Pas d'émission attendue.

#### 3.3.1.2.2 Transformation des combustibles minéraux solides (1B1b)

Les statistiques de production sont connues selon les années, soit par installation, soit par sous-ensemble sectoriel [19] [27] [52] [53].

L'estimation des émissions est effectuée au moyen de facteurs d'émissions issus des déclarations et des données communiquées par la fédération professionnelle du secteur [19] [27] pour les cokeries sidérurgiques (rang GIEC 3). Ces facteurs sont ensuite appliqués à l'ensemble de la production de coke (minier et sidérurgique).

***Émissions de $CO_2$***

Pas d'émission attendue.

***Émissions de $CH_4$***

Le méthane est le seul gaz à effet de serre considéré comme émis lors des phases d'extinction et de défournement des fours à coke. Les émissions des autres GES sont intégralement comptabilisées dans la section « 1A1c - solid fuels transformation ».

Les déclarations annuelles des sites [19] et des données communiquées par la fédération professionnelle du secteur de la sidérurgie [27] permettent de calculer un facteur d'émission par année à partir de 2006. Pour les années antérieures le facteur d'émission de 2006 est utilisé.

***Émissions de $N_2O$***

Pas d'émission attendue.

### 3.3.1.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 2. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes associées au secteur est effectuée au 3ème niveau de la catégorie (i.e. 1B1).

L'incertitude des données d'activité est de 5 %. Cette valeur est basée sur la littérature (Lignes directrices du GIEC 2006).

L'incertitude du facteur d'émission de $CH_4$ est de 10 %. Cette valeur est basée sur la littérature (Lignes directrices du GIEC 2006).

### 3.3.1.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Un contrôle qualité de niveau 2 est assuré sur les facteurs d'émission et émissions car le Citepa est en étroite relation avec le BRGM qui fournit les données de l'après-mine. Le Citepa vérifie les calculs et s'assure de la cohérence de la méthode appliquée pour l'ensemble des anciens bassins miniers français.

Par ailleurs, le facteur d'émission national de méthane (mines souterraines et en surface en exploitation) a été comparé à celui du tier 1 indiqué dans les Lignes directrices du GIEC 2006 pour s'assurer de la cohérence de l'ordre de grandeur.

### 3.3.1.5 Recalculs

**Impacts des recalculs du CRT 1B1**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 5 387 | 5 519 | 2 270 | 436 | 59 | 36 | 18 | 22 | 15 | 17 | 18 | 19 | 20 | 16 | 29 | 10 | 11 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 5 387 | 5 519 | 2 270 | 436 | 59 | 36 | 18 | 22 | 15 | 17 | 18 | 19 | 20 | 13 | 22 | 10 | 11 | 12 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3.3 | -6.6 | 0 | 0 | +12 |
| | % | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | -20% | -23.15% | 0% | 0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /1.B.1

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Raison et justification du recalcul**

Recalculs pour les années 2019 et 2020 car un lissage de la baisse des émissions fugitives de $CH_4$ de l'après-mine (1B1a, source BRGM) a été effectué (extrapolation linéaire) : la révision de la méthode de BRGM amenait à une division par 10 d'une année à l'autre.

### 3.3.1.6 Suivi des recommandations des revues

| Sector / CRF category / issue | Review recommendation | Review report/ paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| **Energy** 1.B.1.b Solid fuel transformation – solid fuels – CH4 | The Party reported a constant CH4 IEF of 0.18 kg/t for subcategory 1.B.1.b solid fuel transformation in CRF table 1.B.1 for 1990–2006. For 2007 to 2020, the ERT noted inter-annual changes in the CH4 IEF for this subcategory. For example, a significant inter-annual change was reported between 2010 and 2011, when the CH4 IEF decreased from 0.22 to 0.07 kg/t. Between 2011 and 2019, the CH4 IEF remained in the range of 0.05–0.09 kg/t but increased between 2019 and 2020 from 0.06 to 0.27 kg/t. During the review, the Party clarified that the sharp increase in the CH4 IEF between 2019 and 2020 was caused by a malfunction due to a defect in the insulation of a coke oven, which led to an increase in CH4 emissions and in the corresponding CH4 IEF. In accordance with the information in the NIR (section 3.3.1.2.2, p.275) the decrease in the CH4 IEF between 2010 and 2019 was probably due to a change in the methodology used to estimate CH4 emissions, using regulatory measurements instead of the tier 2 methodology previously applied. The ERT considered that this latest methodological change in the reporting of emissions might not have been addressed properly in accordance with the 2006 IPCC Guidelines (vol. 1, chap. 5.3.3, pp.5.8–5.14) because appropriate splicing techniques were not considered and applied to minimize possible inconsistencies in the time series. During the review, France clarified that it will further investigate this issue by contacting the facility to clarify whether the decrease in CH4 emissions from 2010 onward is due to a change in methodology or other possible reasons related to the process. The annual CH4 emissions for subcategory 1.B.1.b solid fuel transformation range from 3.75 to 29.75 kt CO2 eq over the entire time series (1990–2020). Therefore, there are no significant over- or underestimations of CH4 emissions for this subcategory (the threshold of significance for France is equal to 196.48 kt CO2 eq). **The ERT recommends that the Party investigate and explain in the NIR the reasons for the significant decrease in the CH4 IEFs for subcategory 1.B.1.b solid fuel transformation reported for 2010–2019 (from 0.22 kg/t to within the range of 0.05–0.09 kg/t) compared with the constant CH4 IEF reported for 1990–2006 (0.18 kg/t). Further, the ERT recommends that the Party, depending on the reasons for the significant decrease identified in the CH4 IEFs, apply appropriate splicing techniques in accordance with the 2006 IPCC Guidelines (vol. 1, chap. 5.3.3, pp.5.8–5.14) to minimize possible inconsistencies in the time series and report, if** | 2022 Review ARR / E.7 | Not yet implemented. We will further investigate this issue, e.g. by contacting the facility to clarify whether the decrease in CH4 emissions from 2010 onward is due to a change in methodology or other possible reasons related to the process. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | **necessary, revised CH4 emission estimates for the corresponding years.** | | |

### 3.3.1.7 Améliorations envisagées

Pas d'amélioration envisagée.

# 3.3.2 Combustibles liquides et gaz naturel (1B2)

## 3.3.2.1 Caractéristiques de la catégorie

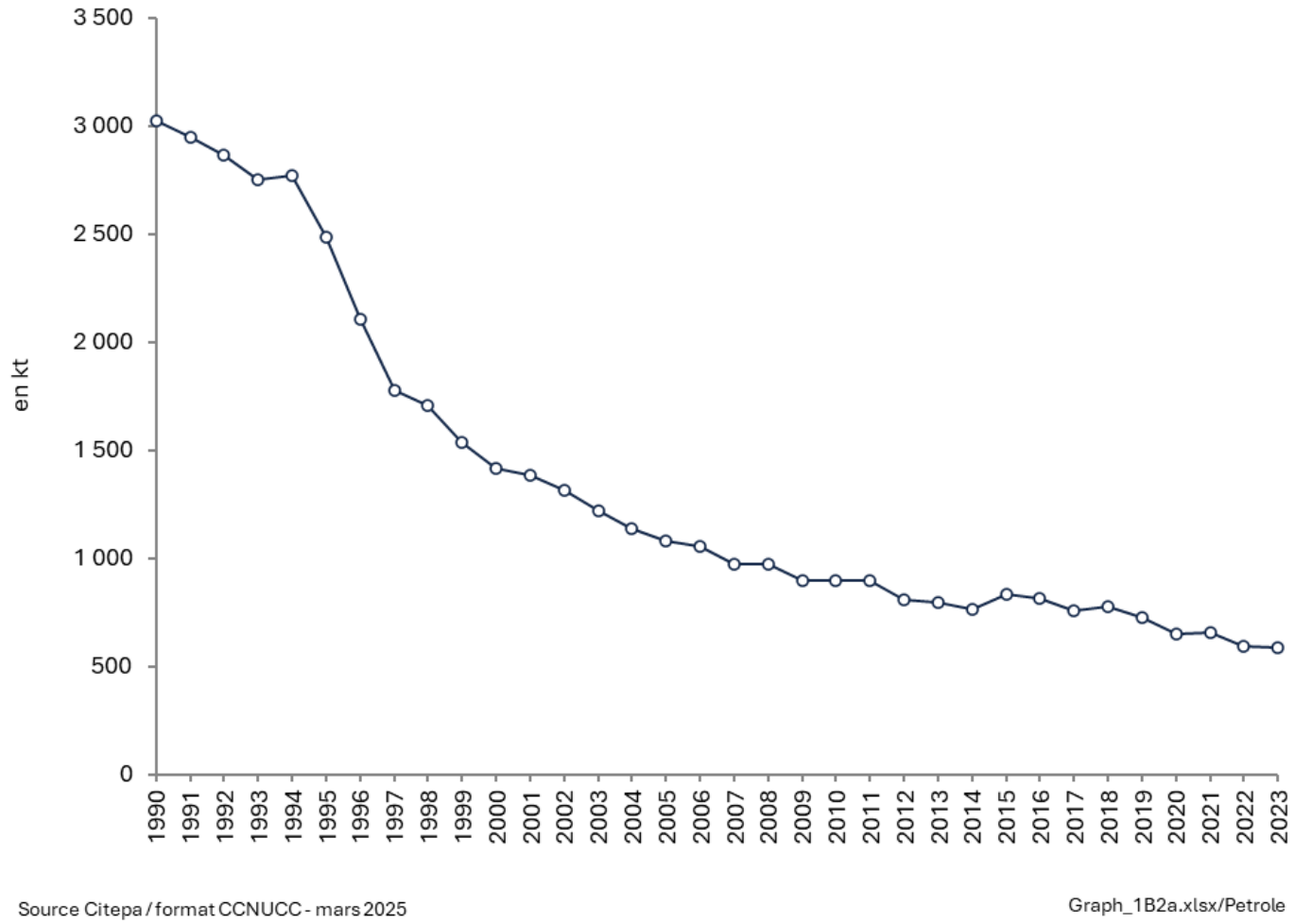
### 3.3.2.1.1 Production, transport, transformation des produits pétroliers et leur distribution (1B2a)

L'activité englobe l'exploration, la production et le transfert du pétrole brut vers les lieux de traitement ainsi que les activités de procédés dans les raffineries françaises, le stockage et la distribution des produits raffinés en France.

**L'exploration de pétrole brut** est une activité existante en France et prise en compte dans les calculs d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques.

**L'extraction de pétrole brut** est localisée uniquement en France métropolitaine. C'est une activité très réduite en France. La production nationale a fortement diminué entre 1990 et 2000 (-7 % par an en moyenne) et décroit de façon moins accentuée mais progressive depuis 2000 (-4 % par an, en moyenne) [14]. Elle ne satisfaisait que 4 % de la consommation en 1990 et à peine plus de 1 % une trentaine d'années plus tard.

**Figure 88 : Extraction de pétrole (périmètre France UE)**




Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Graph_1B2a.xlsx/Petrole

**Le transport de pétrole brut** depuis les sites de production en France est assuré par pipeline et camion-citerne.

L'activité de transport de pétrole se situe dans le périmètre UE et la distribution de produits pétroliers concerne la France entière. Cependant, l'activité de distribution de produits pétroliers n'est émettrice que de COVNM et n'émet pas de GES directs.

La loi n° 2017-1839 du 30 décembre 2017 prévoit l'interdiction de l'attribution de nouveaux permis de recherche d'énergies fossiles et limite le renouvellement des concessions existantes à 2040.

**Les procédés du raffinage du pétrole** (1B2a4) sont émetteurs de $CO_2$, $CH_4$ et $N_2O$.

Il y a actuellement 10 raffineries déclarant une activité en France dont une située en Martinique (territoire d'Outre-mer inclus dans l'UE) et une récemment reconvertie en bioraffinerie (site de La Mède, dont la plateforme a vu en 2022 la création du nouveau site de bioraffinage Ecoslops).

Les sites de raffinage ont connu des modifications de capacité au cours des années écoulées.

Le site de La Mède a arrêté le traitement du pétrole brut fin 2016 et a été transformé pour créer la première bioraffinerie française afin de répondre à la demande croissante en biocarburants. La production des biocarburants du site de la Mède a démarré en juillet 2019. Un projet similaire pour le site de Grandpuits est en cours. Il est prévu que la plateforme de Grandpuits soit de nouveau opérationnelle à partir de 2025.

On notera également que 9 raffineries ont fermé dans la période 1980 – 1985 puis dans les années 2000 :

- En 2003, un site a abandonné son activité de raffinage, ne conservant que ses activités pétrochimiques,
- En 2010, la raffinerie des Flandres (Nord) a été arrêtée et reconvertie en dépôt pétrolier. Le démontage des unités a été réalisé jusqu'en 2013 expliquant les faibles consommations énergétiques dédiées aux utilités et déclarées de 2010 à 2013,
- En 2011, la raffinerie de Reichstett (Bas-Rhin) a arrêté son activité,
- En 2012, la raffinerie de Berre (Bouches du Rhône) a été mise en arrêt temporaire pour 2 années dans l'attente d'une reprise de site. En 2014, l'exploitant a annoncé la fermeture de la raffinerie,
- Enfin, en 2013, la raffinerie de Petit-Couronne (Seine-Maritime) a fermé ses portes. Ce site est en cours de reconversion en entrepôt logistique pour le secteur du e-commerce,
- En 2016, la raffinerie de Dunkerque (SRD) n'a pas fonctionné et a définitivement fermé ses portes en janvier 2017.

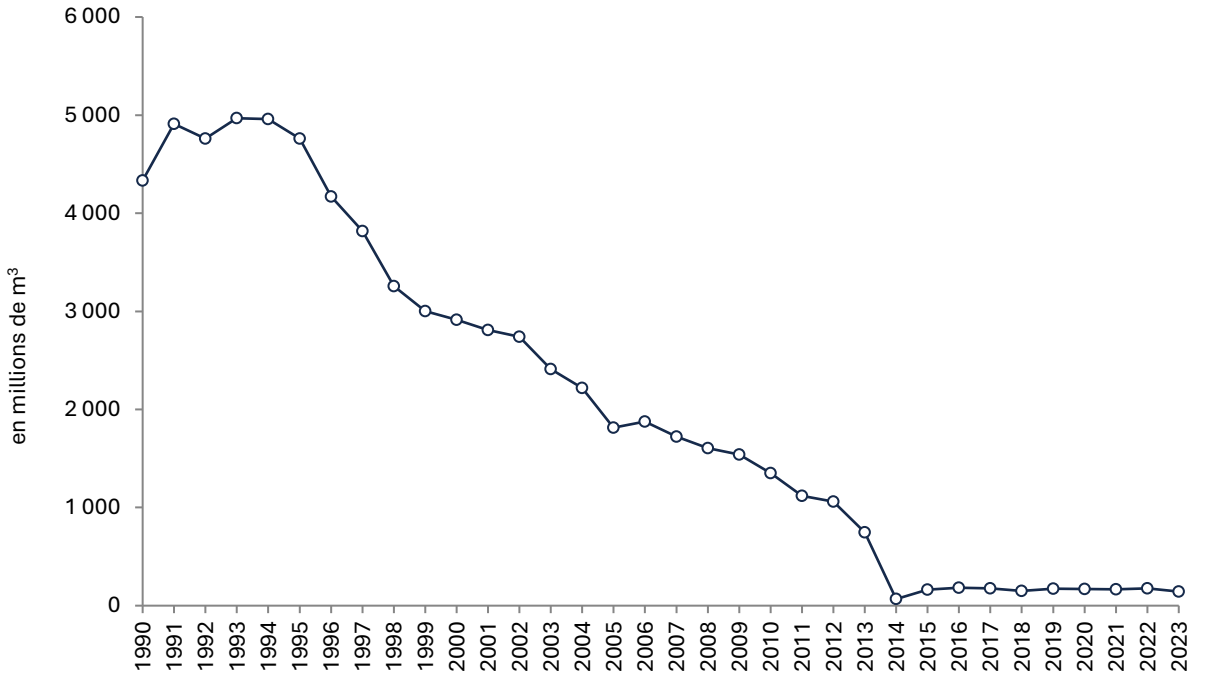
Les procédés considérés sont :

- Les émissions fugitives des procédés en raffinerie (SNAP 040101),
- La régénération du craqueur catalytique - chaudière à CO (SNAP 040102),
- L'unité Claus (récupération de soufre) (SNAP 040103),
- Le stockage et la manutention de produits pétroliers en raffinerie (SNAP 040104),
- Les autres procédés (SNAP 040105) : il est à noter pour cette activité qu'une variation interannuelle des émissions est observée pour les émissions de $CO_2$ et $CH_4$. Ces variations sont liées à une des raffineries ayant un procédé spécifique de Steam Methane Reforming (SMR) qui utilise une source externe de gaz chaud pour chauffer les tubes dans lesquels se produit une réaction catalytique qui convertit la vapeur et les hydrocarbures légers en hydrogène et monoxyde de carbone (syngas). Ce syngas réagit davantage dans le réacteur pour donner plus d'hydrogène et de dioxyde de carbone. Les oxydes de carbone sont éliminés avant utilisation au moyen d'une adsorption modulée en pression (PSA) avec des tamis moléculaires pour la purification finale. Le PSA fonctionne en adsorbant toutes les impuretés du syngas pour laisser un gaz hydrogène pur. Les émissions de la combustion de ce gaz résiduel du PSA sont considérées dans ce poste « autres procédés » et peut varier significativement d'une année à l'autre, expliquant les variations observées. Les émissions de $CO_2$ considérées sont conformes à l'EU-ETS,
- La station d'expédition de produits pétroliers (SNAP 050501).

#### 3.3.2.1.2 Extraction et distribution du gaz naturel (1B2b)

Plusieurs installations d'extraction et de traitement de gaz naturel sont encore en fonctionnement [14]. Cependant, l'activité décroit fortement au cours du temps avec l'épuisement progressif des gisements.

**Figure 89 : Extraction de gaz naturel (périmètre France UE)**




Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Graph_1B2b_extrac_GN.xlsx/Gaz_Nat

Le site de Lacq représentait plus de 90 % de la production totale jusqu'en 2013 mais le site a fermé en 2014.

Les émissions fugitives de $CO_2$ contenu dans le gaz extrait sont très faibles en 2023 par rapport à 1990 et constituent donc une catégorie clé en termes d'évolution hors UTCATF (58ème rang avec 0,3 %).

Concernant la distribution du gaz naturel, les fuites des canalisations de transport et de distribution de gaz naturel occasionnent des émissions de $CH_4$ et de $CO_2$. Le transport et la distribution du gaz ne sont pas des catégories clés en 2023.

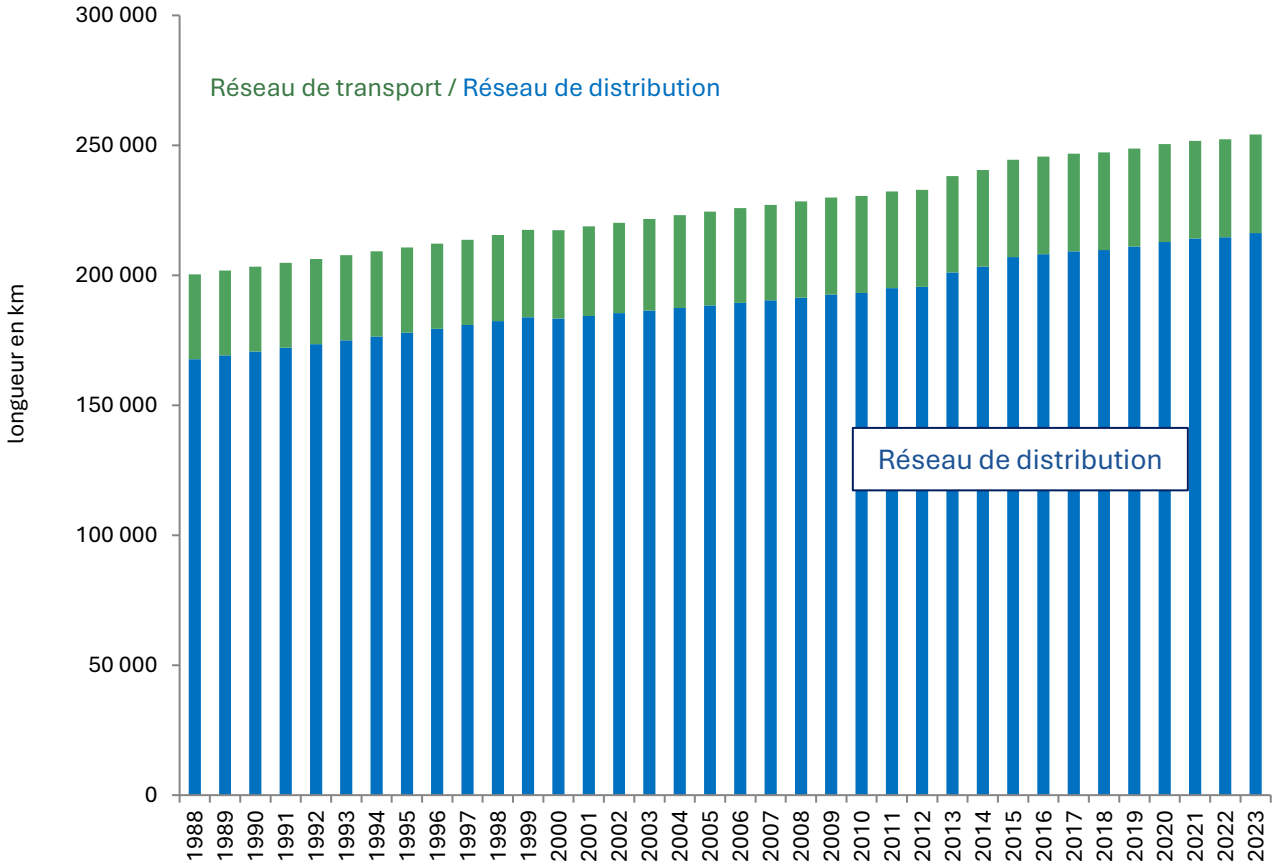
Les principales sources d'émissions fugitives couvertes proviennent :

- du réseau de distribution,
- du réseau de transport,
- des stations de compressions,
- des sites de stockage,
- des terminaux méthaniers.

La nature des émissions est ici étroitement liée à la composition du gaz naturel. En conséquence, les émissions renseignées portent sur le $CH_4$, les COVNM et le $CO_2$.

Le transport du gaz naturel (*via* le réseau de distribution) s'effectue au travers du réseau haute pression (HP) d'une longueur d'environ 37 000 km, tandis que la distribution correspond aux réseaux moyenne et basse pressions (MP et BP) d'une longueur de l'ordre de 200 000 km. Les réseaux MP et BP utilisent des canalisations hétérogènes quant aux matériaux utilisés : vieilles fontes grises, fontes grises à joint express, polyéthylène, acier, fonte ductile, etc. Le renouvellement des canalisations en fonte depuis 1990 a permis d'améliorer l'étanchéité du réseau et ainsi de diminuer les fuites de $CH_4$.

**Figure 90 : Longueur de réseau du gaz naturel en France (périmètre France UE)**




Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 Graph_1B2b_NG_transmission.xlsx/DistGN

Les émissions du secteur 1B2b sont spécifiques de la France métropolitaine (pas de gaz naturel consommé dans les territoires d'Outre-mer).

Le tableau ci-dessous présente les consommations de gaz en France et la longueur du réseau de transport/distribution. En effet, la donnée d'activité rapportée dans les tables CRT correspond à la consommation de gaz naturel alors que les émissions fugitives sont notamment basées sur la longueur et le type de canalisation.

| Année | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Consommation de gaz naturel (PJ) | 1 091 | 1 240 | 1 499 | 1 719 | 1 786 | 1 469 | 1 470 | 1 257 |
| Longueur du réseau de distribution (km) | 170 615 | 177 987 | 183 383 | 188 403 | 193 250 | 206 997 | 212 785 | 216 220 |
| Longueur du réseau de transport (km) | 32 712 | 32 712 | 33 979 | 36 090 | 37 301 | 37 456 | 37 656 | 37 896 |

#### 3.3.2.1.3 Torchères et Ventilation (1B2c)

Cette activité regroupe les torchères en raffinerie de pétrole, celles de l'extraction de gaz et de pétrole et celles situées au niveau des terminaux méthaniers, des sites de stockage de gaz naturel et des stations de compression. Les émissions dues aux gaz rejetés par les installations (purges, évents, etc.) dans l'extraction de pétrole sont également reportées dans cette section. Le secteur 1B2c est relatif au périmètre UE.

Les activités d'extraction de pétrole sont marginales en France du fait d'une ressource limitée. Les activités d'extraction de gaz quant à elles étaient localisées majoritairement (> 90 %) sur le site de Lacq. Cependant, ce site a fermé en 2014 et l'extraction de gaz est devenue quasiment inexistante en France.

Le torchage au niveau des terminaux méthaniers et des stations de compression participe marginalement aux émissions de ce secteur.

### 3.3.2.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant : https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/ominea.

#### 3.3.2.2.1 Production, transport, transformation des produits pétroliers et leur distribution (1B2a)

**Extraction, exploration et transport de pétrole brut (1B2ai, ii, et iii)**

Les émissions de l'exploration et de l'extraction de pétrole brut sont faibles et suivent la courbe de production (les liquides gaz naturel sont négligés). Elles sont déterminées en utilisant les facteurs d'émission du GIEC (méthode Tier 1).

Le même niveau de méthode est utilisé pour les émissions relatives au transport de pétrole brut. Dans cette catégorie sont comptabilisées les émissions liées au transport de pétrole brut en pipelines et camion-citernes mais également les émissions fugitives de pétrole brut transitant par les terminaux pétroliers. La donnée d'activités de cette catégorie correspond à la quantité de pétrole brut chargée en pipelines, camion-citernes et terminaux pétroliers.

Les émissions issues de cinq types de sources sont considérées :

- Les émissions liées à l'exploration de pétrole brut (EPL) ;
- Les émissions fugitives liées aux fuites des équipements (brides, raccords…) lors de l'extraction, pertes au stockage (FUG) ;
- Les émissions fugitives dues au réseau de transport de pétrole brut par pipelines (PIP) ;
- Les émissions fugitives dues au réseau de transport de pétrole brut par camions et wagons-citernes (CIT) ;
- Les émissions fugitives liées au stockage de brut dans les terminaux pétroliers (BRT).

Les données d'activités et de facteurs d'émission pour chaque type de source sont disponibles dans la base de données OMINEA.

L'exploration de pétrole est une activité encore existante en France. Jusqu'à 2018, un permis de recherche était attribué pour une durée maximale de 5 ans, pouvant être prolongé à deux reprises, chaque fois de cinq ans au maximum. Les différents permis de recherches sont indiqués dans le CPDP [14]. L'Etat n'octroie plus de nouveaux permis de recherche depuis 2018. En effet aucune nouvelle activité de forage n'existe selon le CPDP [14] depuis 2018 (mise à part le forage pour « l'extension-développement »). Cependant, les concessions d'exploitation déjà accordées peuvent être prolongées, mais pas au-delà de 2040.

En outre, même si des permis de recherche off-shore sont accordés, l'extraction de pétrole brut off-shore en France est négligeable. L'activité prise en compte pour la catégorie FUG correspond donc à l'extraction terrestre. Il y a toujours eu moins de 1 % de la production nationale de pétrole brut localisée en dehors du Bassin Parisien et de l'Aquitaine.

L'activité de transport par pipeline est fournie par le CPDP chaque année. Celle pour les camions-citernes est déterminée à partir de données d'expert et de la production française [14]. Le pétrole brut importé arrive par bateau dans les terminaux pétroliers, ensuite il est acheminé principalement par pipeline dans les raffineries et le transport en camions et wagons-citernes est exclusif à la production de pétrole brut en France.

La quantité de pétrole brut importé transitant par les terminaux pétroliers est fournie par le CPDP chaque année. Cependant, il est à noter que les valeurs de 2021 ont été reportées les années suivantes en raison de la non-publication des valeurs réelles par le CPDP.

La quantité de pétrole brut transporté ou stocké dans les terminaux est exprimée en Mg.

Le torchage et la partie ventilation (« venting ») issue de l'extraction de pétrole sur le site de production sont inclus dans la section « 1B2c ».

***Emissions de $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$***

*Exploration de pétrole*

L'exploration de pétrole engendre des émissions de $CO_2$, $N_2O$ et $CH_4$ provenant de l'ouverture des puits (Well drilling), des essais (Well testing) et de la préparation des puits (Well servicing). La méthode de calcul des émissions est basée directement sur la production nationale de pétrole [14]. Les facteurs d'émission utilisés sont ceux donnés par défaut pour les pays développés dans les Lignes directrices du GIEC 2006 [627].

Les facteurs d'émission étant exprimés en Gg / 1000 $m^3$ dans les lignes directrices du GIEC 2006, ils peuvent être convertis en kg/Mg à partir de la masse volumique (0,86 Mg/$m^3$).

*Transport de pétrole brut*

Les émissions de $CO_2$ et de $CH_4$ survenant lors du transport de pétrole brut (PIP, CIT) sont calculées et déterminées à partir des facteurs d'émission par défaut du GIEC [627], de la quantité de pétrole brut transportée par pipeline en France (PIP) et de la production nationale de pétrole brut transportée par camion-citerne (CIT).

Les facteurs d'émission pour le transport par pipeline et camion-citerne étant indiqués en Gg / 1000 $m^3$ dans les lignes directrices du GIEC 2006, ils peuvent être convertis en kg/Mg à partir de la masse volumique (0,86 $Mg/m^3$).

Cette activité n'est pas émettrice de $N_2O$.

*Extraction de pétrole brut*

Pour l'extraction (FUG et VEN), les lignes directrices du GIEC 2006 donnent des facteurs d'émission pour le $CH_4$ et le $CO_2$ concernant la ventilation (« venting », VEN) mais seul un facteur d'émission pour le $CO_2$ est fourni pour les émissions fugitives (FUG). Le ratio $CO_2/CH_4$ a été calculé à partir des facteurs d'émission de la ventilation (« venting », VEN) et est utilisé pour déterminer le facteur d'émission du $CH_4$ fugitif (FUG) [627].

**Tableau 84 : Facteurs d'émission de $CO_2$ et $CH_4$ pour les émissions fugitives et les évents pour l'extraction de pétrole brut (en kt/1000 $m^3$)**

| Facteur d'émission | $CO_2$ | $CH_4$ | Ratio $CH_4/CO_2$ |
|---|---|---|---|
| Facteur d'émission extraction – VEN (Gg/1000 $m^3$) | 9,5E-05 | 7,2E-04 | 7,58E+00 |
| Facteur d'émission extraction – FUG (Gg/1000 $m^3$) | 2,6E-04 | 1,97E-03 | |

*= valeur obtenue à partir d'une référence, = valeur calculée*

Les facteurs d'émission étant indiqués en Gg / 1000 $m^3$ dans les lignes directrices du GIEC 2006, ils peuvent être convertis en kg/Mg à partir de la masse volumique (0,86 $Mg/m^3$).

Cette activité n'est pas émettrice de $N_2O$.

Les émissions qui proviennent du torchage sur le site de production sont incluses en section 1B2c.

*Stockage de pétrole brut*

Les émissions de $CO_2$ et de $CH_4$ liées au déchargement et stockage de pétrole brut dans les terminaux pétroliers (BRT) sont estimées grâce à une méthodologie mise en place en collaboration avec des experts du secteur pétrolier [13]. Cette méthodologie, basée sur les émissions de COVNM, tient compte notamment des caractéristiques techniques de stockage des bacs (toits fixes *vs* toits flottants, volume de stockage…). Le ratio de conversion utilisé entre le facteur d'émission des COVNM et celui du $CO_2$ et du $CH_4$ est le même que pour l'activité de transport de pétrole brut par pipeline [627] :

**Tableau 85 : Facteurs d'émission de COVNM, $CO_2$ et $CH_4$ pour les émissions fugitives pour le transport et le stockage de pétrole brut**

| Facteur d'émission | COVNM | $CO_2$ | Ratio $CO_2$/COVNM | $CH_4$ | Ratio $CH_4$/COVNM |
|---|---|---|---|---|---|
| Facteur d'émission transport pipeline (Gg/1000 $m^3$) | 5,40E-05 | 4,90E-07 | 9,07E-03 | 5,40E-06 | 1,00E-01 |
| Facteur d'émission du stockage de pétrole brut en 1960[1] (g/Mg) | 7,44E+00 | 6,75E-02 | | 7,44E-01 | |

[1] exemple pour les facteurs d'émission en 1960, ceux-ci évoluent au cours de la série temporelle, mais pas les ratios.

*= valeur obtenue à partir d'une référence, = valeur calculée*

Cette activité n'est pas émettrice de $N_2O$.

**Raffinage du pétrole (1B2aiv)**

Selon les substances, le niveau de méthode utilisée est de Tier 2 ou 3.

Le niveau d'activité est spécifique du procédé considéré :

- Les quantités de pétrole brut traité [14, 19] servent à estimer les émissions fugitives des procédés,

- La quantité de coke brûlé [19] permet de calculer les émissions liées à la régénération du craqueur catalytique.

Pour les autres procédés, les niveaux d'activités ne sont pas connus. Les émissions sont déterminées à partir des déclarations annuelles de rejets [19]. Les niveaux d'émission aux postes de stockage et d'expédition varient en fonction des techniques mises en œuvre sur le site (type de stockage, technique de chargement, etc.) [48].

***Émissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission relatif au coke brûlé.

Les facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19], notamment afin d'assurer la cohérence des données retenues pour l'inventaire avec celles déclarées au titre du SEQE, basées sur des mesures spécifiques.

Lorsque l'exploitant ne fournit pas de facteur spécifique, la moyenne des facteurs d'émission du coke par site ou, en dernier recours, la valeur nationale est appliquée.

Pour les autres procédés (SNAP 010405), les émissions proviennent directement des déclarations annuelles d'émissions [19].

***Émissions de $CH_4$***

Des émissions de $CH_4$ sont recensées au niveau de la régénération du craqueur catalytique. Les facteurs spécifiques et les mesures déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19]. Lorsque l'exploitant ne fournit pas de données, les émissions sont estimées à partir d'un facteur d'émission moyen basé sur les déclarations annuelles de rejets [19] (craqueur catalytique avec chaudière à CO).

Pour le site ne possédant pas de chaudière à CO avant 2013, le facteur d'émission associé est environ 120 fois plus élevé. Depuis 2013, les émissions ont été réduites suite à l'installation de cette technologie.

***Émissions de $N_2O$***

Des émissions de $N_2O$ sont recensées au niveau de la régénération du craqueur catalytique. Les facteurs spécifiques et les mesures déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19]. Lorsque l'exploitant ne fournit pas de données, les émissions sont estimées à partir d'un facteur d'émission moyen basé sur les déclarations annuelles de rejets [19] (craqueur catalytique avec chaudière à CO).

Le facteur d'émission est environ 18 fois plus élevé pour le site non équipé d'une chaudière à CO avant 2013.

#### 3.3.2.2.2 Extraction et distribution du gaz naturel (1B2b)

**Extraction et traitement du gaz naturel (1B2biii)**

Le niveau de méthode utilisé pour cette section est de niveau 3 pour le site de production déclarant ses émissions (activités terrestres-désulfuration) et de niveau 2 pour les autres sites (Activités terrestre – autres que la désulfuration). Pour le site de production de Lacq (site majoritaire), les données proviennent directement de la déclaration annuelle des rejets du site de Lacq [19, 404]. Pour les autres sites, les productions nationales de gaz naturel sont données par le CPDP [14].

***Émissions de $CO_2$ et de $CH_4$***

Avant 2014, la déclaration annuelle de rejets des polluants du site de Lacq donne les émissions pour le site [19, 404]. Les émissions des autres sites de production sont estimées au prorata de leurs productions de gaz considérant un facteur d'émission équivalent à celui du site de Lacq. A partir de 2014, un changement méthodologique est opéré puisque le site de Lacq est à l'arrêt. Un facteur d'émission moyen est calculé sur la période 2007-2013. Ce facteur est ensuite appliqué pour le calcul des émissions postérieures à 2014.

**Transport, stockage et distribution du gaz naturel (1B2biv et 1B2bv)**

Pour cette section, le niveau de méthode utilisé est de rang 2.

*Émissions du réseau de distribution (1B2bv)*

Les émissions du réseau de distribution sont principalement induites par les incidents et par les actes d'exploitation et de maintenance survenus sur le réseau de distribution.

Les émissions ne sont pas liées à la quantité de gaz passant dans les canalisations mais à la longueur de ces dernières (fuites liées à la perméabilité), aux micro-fuites et aux différentes opérations ayant lieu sur le réseau (travaux, incidents, rénovation, etc.). Ces émissions sont estimées selon une méthodologie développée par GRDF et extrapolées ensuite à l'ensemble du réseau de distribution.

*Émissions du réseau de transport (1B2bv)*

Les émissions de $CH_4$ liées au réseau de transport proviennent des opérations de décompression des gazoducs lors des travaux sur le réseau (maintenance, exploitation, etc.) ainsi que des fuites liées à la conception et aux conditions d'exploitation de certains types d'équipements et des rejets liés au fonctionnement des soupapes de sécurité. Deux opérateurs partagent le réseau de transport : GRTgaz (filiale de ENGIE, représentant 86-87% du kilométrage sur la période étudiée et Terega (ex-TIGF).

GRTgaz [334] transmet annuellement les émissions de son réseau depuis 2004. Avant cette date, les émissions du réseau GRTgaz sont considérées constantes hormis pour les micro-fuites résiduelles calculées au prorata du nombre de postes réseau.

Terega transmet annuellement les émissions de $CH_4$ depuis 2006. Avant cette date les émissions sont supposées constantes.

*Émissions des sites de stockage (1B2biv)*

Les émissions des sites de stockage de gaz naturel proviennent des rejets liés à la conception et aux conditions d'exploitation de certains types d'équipement (démarrage et arrêt des installations de compression), des rejets ponctuels lors des opérations de maintenance et/ou de travaux, des fuites liées à un défaut d'étanchéité d'un équipement. Deux opérateurs partagent le stockage de gaz naturel : Storengy (filiale de ENGIE) et Terega (ex-TIGF).

Depuis 2007, les émissions sont issues des déclarations GEREP pour les installations de Storengy ou communiquées annuellement par Terega [19, 629]. Avant cette date, les émissions sont considérées constantes.

*Émissions des terminaux méthaniers (1B2biv)*

Les émissions des terminaux méthaniers sont issues des fuites des réservoirs de stockage, des rejets ponctuels lors d'opération de maintenance et/ou de travaux sur les installations des terminaux méthaniers, des fuites liées à la conception et aux conditions d'exploitations de certains types d'équipement.

Depuis 2007, ces émissions sont issues des déclarations GEREP pour les installations de Elengy (filiale de ENGIE)) [19]. Avant cette date, les émissions sont considérées constantes.

*Émissions des stations de compression (1B2biv)*

Les émissions des stations de compression sont issues des fuites des équipements, des rejets ponctuels lors d'opérations de maintenance et/ou de travaux sur les installations de compression, ou des émissions lors de la mise en sécurité du site.

Depuis 2006, ces émissions sont communiquées annuellement par GRTgaz ((filiale de ENGIE) et Terega (ex-TIGF) [1075, 629]. Avant cette date, les émissions sont considérées constantes hormis pour les micro-fuites de GRTgaz calculées au prorata du nombre de compresseurs.

Les émissions totales obtenues sont ramenées à la consommation annuelle intérieure de gaz naturel (non corrigée du climat).

Les sites de stockage et stations de compression sont connus et peuvent être géoréférencés.

***Émissions de $CO_2$ et de $CH_4$***

*Émissions du réseau de distribution (1B2bv)*

Les émissions de $CH_4$ du réseau de distribution sont transmises annuellement par GRDF [334].

La méthodologie de calcul mise en œuvre par GRDF intègre des données précises recueillies par les équipes de terrain. Les émissions de méthane sont divisées en 3 catégories [783] :

- Emissions liées à la perméabilité : du fait des conditions de pression, le gaz naturel traverse par un processus de "dissolution-diffusion » les films polymères denses du polyéthylène.
- Emissions dues aux travaux : lors des actes d'allongement, de réfection, ... du réseau, il est nécessaire de purger une partie du réseau, l'équipement, puis de purger l'air introduit lors des travaux et de le remplacer par du gaz naturel.
- Emissions dues aux incidents : lorsqu'une fuite est détectée sur le réseau de distribution ou les équipements, l'incident est reporté par le personnel de GRDF.

Pour les émissions liées à la perméabilité, un facteur d'émission linéique est utilisé étant donné que cette émission est directement proportionnelle à la longueur de canalisation en polyéthylène.

Pour les émissions dues aux travaux, GRDF a identifié différents types de travaux (renouvellement, allongement, ...) réalisés sur le réseau, et quantifié les émissions de $CH_4$ de chaque évènement à partir d'équations de mécanique des fluides. Le nombre annuel de travaux est connu de GRDF.

Pour les émissions dues aux incidents, GRDF a aussi calculé des émissions de $CH_4$ par type d'incidents à l'aide d'équations de mécanique des fluides. Néanmoins, pour les évènements les plus importants (en occurrence ou en quantité estimée de méthane), un logiciel utilisé

pour les études de danger a été mis en œuvre pour vérifier et corriger ces émissions unitaires. Quant au nombre d'incidents, les équipes de terrain de GRDF notent tout évènement, quel que soit son importance, dans une base de données, que ce dernier soit repéré lors d'une tournée systématique ou signalé par des équipes GRDF ou des tiers.

Les émissions totales sont calculées en sommant les trois types d'émissions comme décrit dans le schéma ci-dessous :

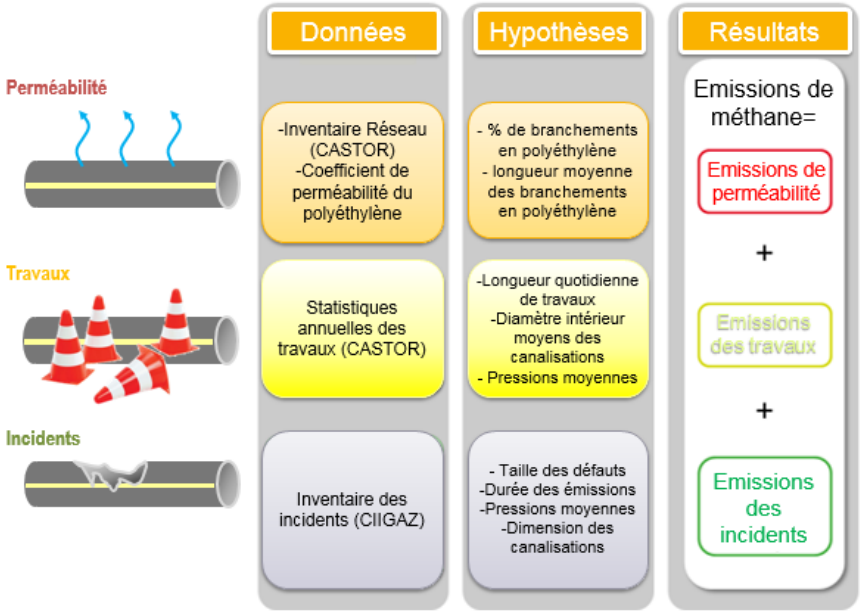



**Figure 91 : Schéma de la méthodologie d'estimation des émissions fugitives de gaz naturel**

Les émissions de $CH_4$ ainsi obtenues par GRDF sont ensuite extrapolées à l'ensemble du réseau de distribution. Ainsi, afin de faire varier annuellement la part des autres opérateurs de distribution de gaz naturel que GRDF, les données de consommation issues de la LTECV (Loi de transition énergétique pour la croissance verte) sont utilisées depuis 2000. Cette part varie légèrement selon les années, allant de 1 à 5 % du total national [907].

Les émissions de $CO_2$ sont ensuite déterminées à partir de la composition moyenne du gaz naturel consommé en France et des émissions de $CH_4$. Cette composition est estimée annuellement à partir des quantités importées de gaz naturel par type de gisement (différent en fonction des pays d'approvisionnement) et de leur composition respective [679]. Cette composition moyenne varie donc légèrement d'une année à l'autre en fonction de la provenance du gaz naturel.

**Tableau 86 : Evolution de la composition massique moyenne du gaz naturel, entre 1990 et 2023**

| Composition moyenne du gaz naturel (en masse) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | 2023 |
| $CH_4$ | 83,8% | 85,6% | 85,1% | 88,5% | 87,0% |
| $CO_2$ | 0,9% | 0,9% | 1,0% | 0,9% | 0,8% |
| Ratio $CO_2/CH_4$ | 0,011 | 0,010 | 0,012 | 0,010 | 0,010 |

*Émissions du réseau de transport (1B2bv)*

Les émissions de $CH_4$ du réseau de transport sont transmises annuellement par les deux opérateurs nationaux GRTgaz et TIGF.

GRTgaz estime les émissions de $CH_4$ en distinguant plusieurs sources distinctes [784] :

- **Les micro-fuites résiduelles** qui sont les rejets aux jonctions hors soudages des assemblages (raccords, joints, vannes d'isolement avec l'atmosphère, etc.). Elles sont présentes sur les postes réseau, les stations d'interconnexion et les stations de compression.

  La méthodologie de quantification est la Norme NF EN 15 446 en appliquant la table de conversion Petroleum (Oil and Gas). La norme est équivalente à l'USEPA (Environmental Protection Agency) méthode 21 en utilisant la conversion d'une concentration mesurée vers un débit.

- **Les soupapes** qui sont les organes de sécurité destinés à protéger les installations d'une surpression éventuelle.

Trois types de défauts pour les soupapes sont identifiés : fuite, ouverture, et non fermeture; à chacun des défauts est associé une quantité de rejet dépendant des caractéristiques de la soupape et du mode de détection du défaut.

- **Les essais de fonctionnement des postes** qui correspondent à une moyenne d'une mise à l'évent par an et par poste (pré-détente et poste de livraison). Ceci est nécessaire pour assurer leur maintenance.

  Le volume est estimé par poste en fonction des diamètres amont et aval et de la longueur associée, et de la pression utilisée qui est la pression aval (décompression du poste par les clients avant essai).

- **Les vannes pilotées en régulation au gaz**

  Les quantités émises par le réseau sont calculées à partir du débit multiplié par le nombre d'heures de l'année et le nombre de vannes concernées.

- **Les dépressurisations pour travaux** qui sont comptabilisées individuellement et font l'objet d'un calcul spécifique dépendant du volume en eau et de la pression en début de purge. Sur certaines opérations, le gaz mis à l'évent est brulé.

- **Les chromatographes :** chaque analyseur de gaz (chromatographe) prélève l'échantillon de gaz à analyser à partir d'une ligne d'échantillonnage. Cette ligne prélève, en continu et à un débit fixé, du gaz naturel dans la canalisation de transport et rejette ce gaz à l'atmosphère. C'est ce débit de fuite qui est comptabilisé.

  Deux valeurs normatives sont utilisées : l'une pour les postes et l'autre pour les interconnexions et les stations de compression.

Terega (représentant 13-14% du kilométrage de réseau de transport sur la période étudiée) estime les émissions de $CH_4$ en fonction de deux sources distinctes [785] :

- **Les postes de livraison**

  Des campagnes de mesure par échantillonnage sur les installations ont été réalisées pour déterminer des débits de pertes diffuses pour un poste sans action de maintenance d'une part et, d'autre part, pour un poste avec action de maintenance.

  Le débit total de pertes diffuses pour les postes de livraison correspond aux émissions des postes avec et sans maintenance, ces postes se distinguant par des débits de pertes diffuse unitaires différents (en tonne $CH_4$/poste).

- **Les postes de sectionnement**

  Les postes de sectionnement sont divisés en 3 catégories :

  - Gros postes de sectionnement : plus de 30 équipements.
  - Postes de sectionnement moyens : entre 10 et 30 équipements.
  - Petits postes de sectionnement : moins de 10 équipements.

Des campagnes de mesures par échantillonnage sur ces postes ont été réalisées pour déterminer des débits de pertes diffuses unitaires. Pour chaque année et pour chaque catégorie de poste (gros, moyens, petits), le nombre de postes ayant subi des actions de maintenance et le nombre de postes n'en ayant pas reçu sont connus. Le débit total de pertes diffuses pour les postes de sectionnement correspond aux émissions des postes avec et sans maintenance, ces postes se distinguant par des débits de pertes diffuses unitaires différents (en tonne $CH_4$/poste).

*Émissions des sites de stockage, de compression et terminaux méthaniers (1B2b4)*

Les émissions lors du stockage, de la regazéification du GNL ou sur les sites de compression de gaz naturel, sont déterminées séparément à partir des communications annuelles avec les exploitants pour GRT [1075] et Terega [629], et des déclarations annuelles pour GRDF et d'autres exploitants [19].

Les fuites des sites de stockage, de compression ou des terminaux méthaniers sont agrégées avec les émissions du réseau de transport.

Les facteurs d'émission sont déduits en rapportant les émissions à la consommation intérieure annuelle de gaz naturel.

Il est également possible de rapporter ces émissions à la longueur totale du réseau.

Malgré l'augmentation constante de la longueur des réseaux de transport et de distribution, les émissions ont diminué en raison des efforts de sécurisation et de maintenance se traduisant par une diminution des incidents, une meilleure détection des fuites et une meilleure maîtrise des émissions.

#### 3.3.2.2.3 Torchères et Ventilation (1B2c)

**Torchères et ventilation dans l'extraction de gaz et de pétrole (1B2c)**

Le niveau de méthode est de rang 1 (pour l'extraction de pétrole), 2 et 3 (pour l'extraction de gaz, les stations de compression et terminaux méthaniers).

L'estimation des émissions liées au torchage et à la ventilation lors de la production de pétrole, est basée sur la quantité annuelle de gaz torché estimée à partir de la production de pétrole en France [14] et des facteurs d'émission de la littérature [627]. Ces données permettent d'estimer les émissions de la plupart des substances, notamment celles participant à l'acidification et au changement climatique.

En ce qui concerne la production de gaz, l'activité, autrefois importante, est en régression continue avec l'épuisement des gisements en particulier celui de Lacq. A l'exception du site de Lacq qui était largement dominant jusqu'en 2014, les informations relatives au torchage lors de l'extraction du gaz sur les divers petits sites ne sont pas connues spécifiquement et sont estimées à partir des productions annuelles.

Concernant le torchage dans les terminaux méthaniers et les stations de compression, les quantités de gaz torché sont directement obtenues auprès des exploitants [19]. Faute d'information précise et compte tenu de la très faible activité, seules les émissions liées aux gaz à effet de serre sont estimées.

*Extraction du pétrole*

Concernant les émissions de la mise en torchère et de la ventilation (« venting ») sur les sites d'extraction de pétrole, les facteurs d'émission utilisés sont tirés des lignes directrices du GIEC 2006 [627].

Ces facteurs d'émission étant indiqués en Gg / 1000 $m^3$ dans les lignes directrices du GIEC 2006, ils peuvent être convertis en kg ou g /Mg de production de pétrole à partir de la masse volumique (0,86 tonne/$m^3$). Les résultats des conversions sont les suivants :

**Tableau 87 : Facteurs d'émission de GES pour l'extraction de pétrole (en kt/1000 $m^3$ et kg/PJ)**

| FE pétrole | $CO_2$ | | $CH_4$ | | $N_2O$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kt/1000$m^3$ | kg/Mg | kt/1000$m^3$ | g/Mg | kt/1000$m^3$ | g/Mg |
| Ventilation | 9,5E-05 | 0,111 | 7,2E-04 | 837,6 | NA | NA |
| Torchères | 4,1E-02 | 47,69 | 2,5E-05 | 29,08 | 6,4E-07 | 0,74 |

A ces émissions issues des torches de l'extraction de pétrole s'ajoutent les émissions des torches des raffineries.

*Extraction du gaz*

Jusqu'en 2013, les émissions proviennent directement de la déclaration annuelle des rejets du site de Lacq qui représente la quasi-totalité de la production [19]. Les facteurs d'émission de gaz à effet de serre du site de Lacq sont appliqués à la production des autres sites d'extraction de gaz naturel afin de calculer les émissions liées au torchage de l'ensemble de la production française.

A partir de 2014, le site de Lacq étant fermé, la méthodologie mise en place consiste en :

1. Estimation d'un ratio moyen de quantité de gaz torché en fonction de la quantité de gaz produit (moyenne des données du site de Lacq sur la période 2009-2013),
2. Estimation d'un facteur moyen d'émission pour chacun des gaz à effet de serre, en utilisant de nouveau la moyenne des données du site de Lacq sur les années 2009-2013. Ces facteurs permettent ensuite le calcul des émissions pour les années 2014 et suivantes liées aux activités de torchage sur les sites d'extraction de gaz encore en activité.

*Stations de compression et terminaux méthaniers*

Concernant les émissions de la mise en torchères dans les stations de compression et les terminaux méthaniers, deux méthodes sont utilisées :

- soit les émissions sont directement tirées des déclarations des exploitants [19] pour les années récentes (notamment pour le $CO_2$ depuis 2005),
- soit un facteur d'émission moyen est recalculé à partir des consommations et des émissions des années connues.

*Raffinage du pétrole*

Le niveau de méthode appliqué est de rang 2 ou 3 selon les substances.

Le niveau d'activité considéré par raffinerie est la quantité de brut traité [14, 19].

Selon les informations disponibles, les émissions sont déterminées avec l'une des méthodes suivantes :

→ les émissions sont déterminées par l'exploitant et rapportées via les déclarations annuelles de rejets [19].

→ les émissions ne sont pas déterminées par l'exploitant. Des facteurs d'émission (littérature ou moyenne du site pour les années connues) rapportés à la quantité de brut traité sont appliqués.

***Émissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées :

- à partir des déclarations annuelles d'émissions de chaque raffinerie [19],
- à partir d'un facteur d'émission moyen spécifique à chaque raffinerie basé sur les données des années récentes.

***Émissions de $CH_4$***

Selon les informations disponibles, les émissions de $CH_4$ sont déterminées :

- à partir des déclarations annuelles d'émissions de chaque raffinerie [19],
- à partir d'un facteur d'émission moyen spécifique à chaque raffinerie basé sur les données des années récentes,
- à partir du facteur d'émission par défaut provenant du guidebook du CONCAWE [396], pour les sites pour lesquels aucune information n'est disponible sur toute la série.

***Émissions de $N_2O$***

Selon les informations disponibles, les émissions de $N_2O$ sont déterminées :

- à partir des déclarations annuelles d'émissions de chaque raffinerie [19],
- à partir d'un facteur d'émission moyen spécifique à chaque raffinerie basé sur les données des années récentes,
- à partir d'un facteur d'émission moyen calculé à partir de toutes les raffineries métropolitaines, pour les raffineries ne disposant d'aucune donnée sur l'ensemble de la série.

### 3.3.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 2. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 3ème niveau de la catégorie (i.e. 1B2).

L'incertitude des données d'activité est basée sur les lignes directrices du GIEC 2006 (Volume 2 – Chapitre 2 Combustion sources mobiles, Table 2.15) prenant en compte l'avis d'experts sectoriels. La valeur de cette incertitude est de 10%.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission de $CO_2$ sont basées sur des estimations d'experts, tenant compte les variations du facteur d'émission moyen. Cette incertitude est de 2 %.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission de $CH_4$ et de $N_2O$ sont de 100 %. Pour le $CH_4$, ceci est basé sur les lignes directrices du GIEC 2006 (Volume 2 – Chapitre 2 Combustion sources mobiles, Table 2.12) en tenant compte de l'avis des experts sectoriels. Pour le $N_2O$, les lignes directives du GIEC 2006 n'indiquent pas les incertitudes des facteurs d'émission. Ainsi, l'avis des experts sectoriels a été pris en compte considérant que les incertitudes pour le $CH_4$ et le $N_2O$ sont plus élevées, car elles reflètent l'utilisation de facteurs par défaut.

La grande majorité des données provenant directement des industriels concernés depuis le début de la période considérée, après vérification par l'administration, la cohérence temporelle est assurée.

### 3.3.2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Des dispositions spécifiques sont prises pour ce sous-secteur :

- Participation de l'industrie : les données concernant les activités sont directement demandées aux industries pétrolières et gazéifères permettant ainsi de couvrir toutes les sources. Un recoupement du périmètre est aussi réalisé avec la publication du CPDP qui couvre ces activités.
- Pour la distribution et le transport de gaz naturel, un projet de Convention entre le Citepa, le MTE, GrDF, GRTgaz et TIGF est en cours de réalisation afin que les données nécessaires à l'inventaire soient transmises chaque année au Citepa s'accompagnant d'une note explicative sur les éventuelles évolutions des émissions entre deux éditions et d'une note détaillée décrivant les éventuelles évolutions méthodologiques.
- Utilisation de mesures directes : les émissions obtenues par mesure dans les déclarations annuelles des exploitants sont vérifiées par les autorités locales (DREAL) qui s'assurent de la bonne application des méthodes standards de mesures reconnues. Elles sont ensuite validées par le Ministère chargé de l'Ecologie (MTE). De plus dans le cadre du SEQE les émissions de $CO_2$ des sites soumis sont vérifiées par un vérificateur agréé avant d'être transmises à la DREAL et validées par le MTE.
- Vérification des FE du $CH_4$ et $N_2O$ : pour les torches des raffineries de pétrole où les mesures directes des exploitants peuvent être utilisées, les FE recalculés par site sont comparés à ceux du CONCAWE (1/09 Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries) avant d'être validés ou écartés, à l'exception du FE du $CO_2$ qui est dans tous les cas conservés afin d'assurer la cohérence avec le SEQE.

### 3.3.2.5 Recalculs

**Impacts des recalculs du CRT 1B2**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 6 402 | 6 261 | 6 014 | 5 638 | 5 916 | 5 608 | 4 997 | 4 669 | 4 423 | 4 295 | 4 332 | 4 169 | 4 205 | 3 711 | 3 139 | 2 681 | 2 511 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 6 402 | 6 261 | 6 014 | 5 638 | 5 916 | 5 608 | 4 997 | 4 669 | 4 423 | 4 295 | 4 332 | 4 169 | 4 205 | 3 711 | 3 139 | 2 681 | 2 511 | 2 426 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +2 426 |
| | % | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /1.B.2

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Raison et justification**

Pas de recalcul.

### 3.3.2.6 Améliorations envisagées

Pour les émissions fugitives des combustibles liquides et gaz naturel, il est envisagé de passer à la méthodologie issue du Raffinement 2019 du GIEC.

# 3.4 Transport et stockage de $CO_2$ (CRT 1C)

## 3.4.1 Injection et stockage (CRT 1C2)

### 3.4.1.1 Caractéristiques de la catégorie

En France, un seul site pilote expérimental a été dénombré. Ce site expérimental visant à tester au niveau industriel la chaine complète de captage-stockage-transport du $CO_2$ (CSC) a été lancé en janvier 2010 par le groupe TOTAL dans le bassin de Lacq (Aquitaine). Ce bassin est un ancien site d'extraction de gaz. Le but de ce projet est de tester la faisabilité industrielle du CSC selon les phases suivantes :

- 2010-2013 : phase d'injection du $CO_2$ dans le puits de Rousse
- 2013-2016 : phase de surveillance environnementale et de monitoring du réservoir.

Aucune fuite n'a été mesurée à la suite du projet, permettant de considérer des émissions nulles pour cette activité (informations disponibles sur le site des services de l'État dans les Pyrénées-Atlantiques).

Le $CO_2$ stocké par ce pilote n'est pas comptabilisé dans l'inventaire.

### 3.4.1.2 Méthode d'estimation des émissions

A ce jour, les émissions fugitives de $CO_2$ liées à cette activité sont considérées nulles.

### 3.4.1.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

Aucune incertitude n'est associée à cette activité.

### 3.4.1.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Non concerné.

### 3.4.1.5 Recalculs

Non concerné.

### 3.4.1.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration envisagée.



# 4. PROCEDES INDUSTRIELS (CRT 2)

# 4.1 Présentation générale du secteur

Cette catégorie regroupe l'ensemble des activités industrielles pour lesquelles le procédé utilisé est une source potentielle d'émissions de gaz à effet de serre. Cette section inclut les procédés industriels dont les émissions ne résultent pas des combustibles à savoir, la production de produits minéraux, la chimie, la métallurgie, la production de produits non énergétique issus des combustibles (par exemple utilisation de la paraffine) et utilisation de solvants et des productions diverses (industries agro-alimentaires, etc.) et de façon spécifique la production de HFC, PFC, $SF_6$ et $NF_3$ ainsi que la consommation de ces produits. Les émissions occasionnées par la combustion de combustibles dans les fours (procédés énergétiques avec contact) sont comptabilisées dans la catégorie énergie (1A2).

**Tableau 88 : Émissions de gaz à effet de serre des Procédés industriels (périmètre UE)**

| PROCEDES INDUSTRIELS (périmètre France UE) | | | Secteurs-d.xlsx | |
|---|---|---|---|---|
| | 1990 | | 2023 | |
| Substances | Emissions en $CO_2$ eq (kt) | % du total national hors UTCATF | Emissions en $CO_2$ eq (kt) | % du total national hors UTCATF |
| $CO_2$ | 42 539 | 10.7% | 24 638 | 8.8% |
| $CH_4$ | 285 | 0.3% | 52 | 0.1% |
| $N_2O$ | 21 299 | 39.6% | 411 | 1.5% |
| HFC | 4 226 | 100% | 8 391 | 100% |
| PFC | 4 685 | 100% | 219 | 100% |
| $SF_6$ | 2 233 | 100% | 381 | 100% |
| $NF_3$ | 15 | 100% | 12 | 100% |
| $CO_2e$ | 75 282 | 13.8% | 34 103 | 9.1% |

source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

En 2023, au périmètre France UE et hors UTCATF, la catégorie 2 relative aux procédés industriels est :

- le second émetteur de $CO_2$ après l'énergie (CRT 1) avec 8,8 % des émissions nationales ;
- le quatrième contributeur aux émissions de $N_2O$ avec 1,5 %, très loin derrière l'agriculture (premier contributeur), du fait de la baisse très importante des émissions de $N_2O$ depuis 1990 ;
- la seule catégorie émettrice de HFC, PFC, $NF_3$ et $SF_6$ ;
- le quatrième contributeur aux émissions de $CH_4$ avec seulement 0,1 %, très loin derrière le premier contributeur, l'agriculture.

# 4.2 Produits minéraux (CRT 2A)

## 4.2.1 Caractéristiques de la catégorie

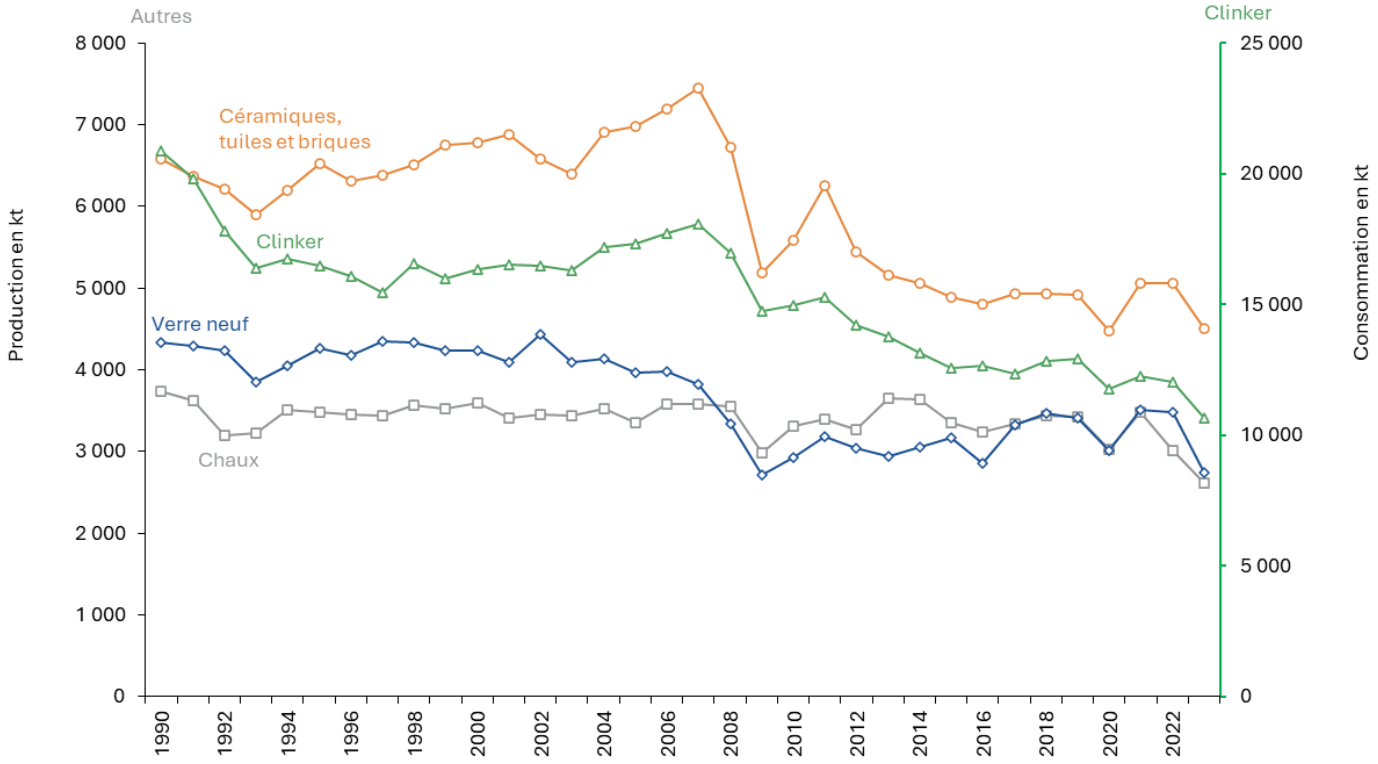
Cette catégorie n'est émettrice que d'émissions de $CO_2$. Le phénomène de décarbonatation est à l'origine de la majorité des émissions du fait de plusieurs secteurs d'activités :

- production de ciment (CRT 2A1),
- production de chaux (CRT 2A2) (chaux aérienne, magnésienne, hydraulique et auto-producteurs de chaux dans le secteur du raffinage des betteraves dans les sucreries),
- production de verre (CRT 2A3),
- production de céramique et de tuiles et briques (CRT 2A4-a),
- autres utilisations de carbonates de sodium (CRT 2A4-b),
- autres utilisations (CRT 2A4-d) : utilisation de carbonates dans la production d'émail (données confidentielles mais niveau d'émission très faible).

D'autres utilisations de carbonates sont comptabilisées dans le secteur utilisateur comme par exemple l'utilisation de produits carbonés dans les techniques de désulfuration de certaines centrales thermiques et de certaines installations de chauffage urbain comptabilisées en 1A, l'utilisation de dolomie pour produire du magnésium comptabilisée en 2C4, l'utilisation de castine ou de matières carbonées sur des sites chimiques comptabilisée en 2B10.

Le graphique suivant donne l'évolution des productions de certains produits minéraux en France (périmètre UE) depuis 1990.

**Figure 92 : Productions des principaux produits minéraux en France (périmètre UE) depuis 1990**




source CITEPA / format CCNUCC - mars 2024 Graph_2A.xlsx/2A

Pour l'ensemble de ces activités, l'année 2009 est marquée par une forte baisse de la production par rapport à 2008 du fait essentiellement de la crise économique. Les baisses de production observées sont comprises entre -13 % (clinker) et -23 % (céramiques/tuiles et briques). Une reprise s'est amorcée en 2010 et en 2011 bien que le niveau observé ne soit pas encore celui d'avant la crise économique pour un certain nombre de secteurs. Les années 2012, 2013 et 2014 sont marquées par une nouvelle baisse de

l'activité (sauf pour la chaux en 2013-2014) et, pour le secteur du verre, l'année 2015 présente une légère reprise. Toutefois, l'année 2016 marque de nouveau une baisse de la production dans l'ensemble des secteurs par rapport à l'année 2015. En 2017, les productions de chaux et de céramiques, tuiles et briques sont restées relativement stables, tandis que la production de verre neuf est repartie à la hausse. Au contraire, la production de clinker a connu une baisse par rapport à l'année 2016. La production de clinker a progressé entre 2017 et 2019, alors que les productions de chaux, de céramiques, tuiles et briques et de verre neuf se sont globalement stabilisées. En 2020, la pandémie de la Covid-19, et les différents confinements, ont provoqué une forte baisse de la production par rapport à 2019, de l'ordre de -10 % (de -8,2 % pour le sous-secteur des céramiques/tuiles et briques à -11,6 % pour la chaux). L'activité a connu un rebond en 2021, avec une augmentation globale de 8,7 % par rapport à 2020, pour les productions des quatre secteurs indiqués dans le graphe ci-dessus. La reprise est principalement marquée dans le secteur de la chaux (+15,5 %) et du verre (+14,8 %). L'augmentation la plus faible se situe au niveau de la production de clinker (+4 %). Entre 2019 et 2021, la production totale de ces quatre secteurs du CRT 2A a reculé de 1,7 %. A partir de 2022, une légère diminution de la production de clinker est enregistrée (-1,6% par rapport à 2021) et se poursuit plus intensément en 2023 (-11,4% par rapport à 2022).

Les substances pour lesquelles les sous-secteurs appartenant au secteur 2A sont sources clés en 2023 sont les suivantes :

**Tableau 89 : Substances pour lesquelles le secteur 2A est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 2A1 Cement Production | $CO_2$ | 16ème | 1,5 % | 25ème | 0,9 % |
| 2A2 Lime Production | $CO_2$ | 32ème | 0,5 % | - | - |

### 4.2.1.1 Ciment décarbonatation (2A1)

La production de clinker évolue depuis 1990 en fonction du marché. Quelques fermetures de sites au début des années 1990 ont entraîné une baisse de 21 % de la production entre 1990 et 1993.

Bien qu'une reprise de l'activité soit visible en 2010 et 2011, l'année 2012 est marquée par une nouvelle baisse de 7 % de la production par rapport à l'année 2011. Les années qui suivent, de 2013 à 2017 ont des niveaux encore en baisse par rapport à 2012. 2018 et 2019 sont marquées par une augmentation de la production de clinker (toujours en dessous du niveau de 2012). L'année 2020, marquée par la pandémie de la Covid-19, constitue l'année avec la production la plus faible sur l'ensemble de la période. La production de clinker de 2020 a baissé de 8 % par rapport à l'année 2019. En 2021, un effet rebond est observé et la production a augmenté de 4 % par rapport à 2020, restant cependant toujours plus faible que le niveau pré-Covid observé en 2019 (de 5 % plus faible). En 2022, la production est en légère baisse comparativement à 2021 (- 1 %) et cette dernière se poursuit plus intensément en 2023 (-11,4% par rapport à 2022).

En 2023, 22 cimenteries classiques assurent la majeure partie de la production et 3 sites fabriquent des ciments aluminates (environ 4,73 % de la production nationale). Ces 25 sites sont tous implantés en France métropolitaine.

La quantité de clinker produite annuellement est connue auprès du Syndicat Français de l'Industrie Cimentière [218] pour la période avant 2004. A partir de l'année 2004, la production nationale de clinker est obtenue en agrégeant les productions recueillies au niveau des sites industriels.

La méthode mise en œuvre dépend de l'année considérée. Le schéma suivant présente ces différentes méthodes et une description plus fine est fournie dans la suite de ce document.

***Niveau de méthode appliqué pour la détermination des émissions de $CO_2$ pour la production de ciment***

| 1990 | 2004 | 2008 |
|---|---|---|
| Tier 2 : calcul national spécifique | Tier 2/3 : données individuelles majorées des émissions manquantes | Tier 3 : données individuelles |

Les cimenteries ne déclarent leurs émissions annuelles de façon très détaillée que depuis 2004 (inclus). Ces émissions individuelles sont traitées spécifiquement et prises en compte dans l'inventaire (approche totale bottom-up) depuis 2004.

Avant 2004, les émissions sont calculées au moyen de facteurs d'émission déterminés sur la base des données détaillées disponibles depuis 2008 dans les déclarations annuelles.

Entre l'année 2004, année des premières déclarations détaillées et l'année 2008, première année de la 2ème période du système d'échange des quotas d'émissions (SEQE-UE[25]), le périmètre des émissions déclarées par les industriels a évolué. Depuis 2008, les cimenteries déclarent tout ou partie des émissions des différentes sources suivantes :

- la calcination des carbonates dans les matières premières utilisées pour produire le clinker,
- la calcination totale ou partielle des poussières des fours à ciment ou des poussières de by-pass,
- dans certains cas du carbone non issu de carbonates présent dans les matières premières.

Entre 2004 et 2008, les industriels ne déclaraient pas les émissions de $CO_2$ induites par les poussières de by-pass, ni celles induites par le carbone non issu des carbonates. Afin d'assurer une série homogène et cohérente sur l'ensemble de la période, un facteur d'émission pour les différents types d'émissions de décarbonatation est déterminé et appliqué sur toute la série temporelle.

Le détail des différents types d'émissions de décarbonatation est présenté ci-après :

**Concernant la calcination des carbonates** dans les matières premières utilisées pour produire le clinker, le $CO_2$ de la décarbonatation provient de la transformation du carbonate de calcium en oxyde de calcium au cours du procédé de fabrication selon la réaction suivante :

$CaCO_3$ à $CaO + CO_2$

$CaCO_3$, $MgCO_3$ à $CaO, MgO + 2\ CO_2$

Le GIEC [613], dans son niveau 1, recommande de calculer le $CO_2$ de la décarbonatation à partir du contenu en chaux du clinker et une valeur par défaut est proposée pour le contenu en CaO du clinker : 65 %.

Toutefois, le GIEC, dans son niveau 1, ne prend pas en compte la décomposition du $MgCO_3$. D'après la profession cimentière [239], le clinker contient environ 2 % de MgO.

Depuis 2004, les émissions de décarbonatation déterminées au niveau national sont cohérentes avec les données d'émissions relatives à la décarbonatation des cimenteries couvertes par le système d'échanges de quotas de gaz à effet de serre (SEQE). Ce dernier ne regroupant pas l'ensemble des cimenteries, les émissions nationales sont légèrement supérieures à celles observées dans le système d'échange. Toutefois, depuis 2013, toutes les cimenteries sont couvertes par le système d'échanges de quotas de gaz à effet de serre.

Les émissions nationales dans l'inventaire correspondent au total des émissions déclarées par l'ensemble des cimenteries.

Le facteur d'émission par défaut est de 525 kg $CO_2$ / t clinker [348-annexe VI]. Depuis la mise en place du SEQE, la plupart des cimenteries ont mis en œuvre des niveaux de méthode précis (élevés au sens de la règlementation EU ETS) pour la détermination des émissions. Ainsi, des mesures de la teneur en carbone dans les matières premières sont réalisées, permettant d'obtenir des valeurs spécifiques précises.

**Concernant la calcination des poussières des fours à ciment ou des poussières de by-pass**, seules quelques installations sont concernées (environ la moitié est munie de tels équipements). Ces émissions ne sont déclarées par les exploitants que depuis 2008 dans le cadre de la seconde période du SEQE mais elles sont estimées dans l'inventaire pour les années antérieures grâce à une méthode de calcul décrite ci-après.

**Concernant le carbone non issu de carbonates présent dans les matières premières**, seules quelques installations sont concernées (environ 1/3). Ces émissions ne sont déclarées par les exploitants que depuis 2008. Elles sont toutefois estimées dans l'inventaire pour les années antérieures grâce à une méthode de calcul décrite ci-après.

[25] SEQE UE : Système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre de l'Union européenne (ou EU ETS en anglais : European union Emissions trading system)

Le procédé relatif à la **production de ciment aluminate** étant différent de celui relatif à la fabrication du ciment de Portland, le facteur d'émission est différent et très variable. Une distinction est donc faite entre ces deux types de produits. La méthode est décrite ci-après pour chacun de ces produits.

#### 4.2.1.2 Chaux décarbonatation (2A2)

Les émissions proviennent, d'une part, de l'utilisation par les producteurs de chaux de pierres calciques et/ou dolomitiques et, d'autre part, de l'utilisation de roches calciques par les auto-producteurs de chaux en sucreries.

Dans le secteur de la production de chaux, trois types de production de chaux sont à distinguer :

- la production de **chaux aérienne**, également appelée chaux grasse ou chaux calcique et de **chaux magnésienne**. La chaux aérienne est principalement constituée d'oxyde ou d'hydroxyde de calcium qui durcit lentement à l'air sous l'effet du $CO_2$ présent dans l'air. Elle prend en compte la chaux vive et la chaux éteinte.

  La chaux magnésienne est constituée intégralement d'oxyde ou d'hydroxyde de calcium et de magnésium. Elle résulte de la calcination de la dolomie.

  Les données de production pour ces deux types de chaux proviennent de la fédération de la chaux [190] sur l'ensemble de la période. Les sites de production de chaux aérienne et magnésienne sont présents en France métropolitaine.

- la production de **chaux hydraulique** s'opère par la calcination d'un calcaire plus ou moins argileux et siliceux avec réduction en poudre par extinction avec ou sans broyage. La chaux hydraulique est constituée d'hydroxyde de calcium, de silicates et d'aluminates de calcium.
  Il y a actuellement très peu de sites de production de chaux hydraulique en France métropolitaine : les trois sites les plus importants soumis au système déclaratif annuel des rejets (quatre sites avant 2013) et deux autres plus petits sites.

  La production pour les plus gros sites est connue via les déclarations individuelles [19] ou via des communications directes des sites. La production des deux autres plus petits sites est connue en 2004 à partir de données transmises par la profession [195]. En 2004, ces 2 sites représentent 3 % de la production de chaux hydraulique totale. Ce pourcentage est conservé pour estimer la production sur l'ensemble de la période.

- la production de chaux dans le secteur de production de sucre de betteraves (auto-producteur).

  L'estimation de la quantité de $CaCO_3$ contenue dans les roches calcaires utilisées par les sucriers est basée sur la quantité de betterave traitée [332]. Une partie de la quantité de $CaCO_3$ se retrouve dans les écumes de sucrerie (ensuite réutilisées en agriculture comme amendement minéral basique). Un rendement de 98 % de récupération des carbonates, pour estimer la quantité de $CO_2$ émise au niveau du site, est retenu. Cette valeur du rendement est basée sur une estimation prudente des possibles pertes au niveau de l'étape de carbonatation du jus de sucre. En effet, selon le point 10 de l'annexe IV du règlement 2018/2066 (sur la surveillance et déclaration des émissions de $CO_2$ dans le cadre de l'EU ETS), « lorsque la chaux vive et le $CO_2$ issus du calcaire sont utilisés dans des procédés de purification [carbonatation du jus de sucre], de sorte qu'approximativement la même quantité de $CO_2$ se trouve à nouveau sous forme liée, il n'est pas nécessaire de faire figurer séparément la décomposition des carbonates et ledit procédé d'épuration dans le plan de surveillance de l'installation ». Cela signifie que les installations soumises à l'EU ETS qui produisent la chaux nécessaire à la production de sucre ne comptabilisent pas d'émission de décarbonatation pour la production de cette chaux. Afin d'éviter toute sous-estimation des émissions, des pertes de l'ordre de 2 % sont comptabilisées, correspondant à des émissions à l'atmosphère.

Le $CO_2$ de la décarbonatation provient de la transformation du carbonate de calcium en oxyde de calcium (chaux aérienne) ou du carbonate double de calcium et de magnésium constituant la dolomie en chaux magnésienne :

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

$CaCO_3, MgCO_3 \rightarrow CaO, MgO + 2\ CO_2$

Dans le cas de la production de la chaux hydraulique, tout le calcium ne peut pas être décarbonaté. Le facteur d'émission dépend de la chaux hydraulique produite et sera variable en fonction du site de production.

La production de chaux (hors auto-production en sucrerie) sur la période 1990 – 2008 est assez stable mais en 2009, la production chute (-18 % par rapport à 2008), conséquence de la crise économique. Les années 2010 et 2011 sont marquées par une reprise de l'activité économique de ce secteur avec une nouvelle baisse en 2012 suivie d'une belle reprise en 2013. L'année 2014 marque une stabilisation de la production avant une baisse prononcée, observée durant les années 2015 et 2016 (-10,5 % en 2016 par rapport à 2014). Les années 2017 et 2018 augurent d'une reprise dans l'activité du secteur, confirmée en 2019. La pandémie de Covid-19 de 2020 est venue stopper cet élan, avec une baisse de la production de 13 % par rapport à 2019. La production observée en 2021 est supérieure à la production de 2019 (et supérieure de 15 % à la production de 2020), signe d'une reprise significative de l'activité post-Covid. Ce secteur connait donc

de fortes variations de production au cours du temps. Toutefois, une très forte baisse s'est amorcée depuis 2021 (-13,7% entre 2021 et 2022 et -13,3% entre 2022 et 2023).

En 2023, il existait en France 15 usines de production de chaux aériennes et magnésiennes en fonctionnement (contre 18 au début des années 2000) et 5 sites de production de chaux hydraulique dont 2 ayant une capacité inférieure à 4000 t/an.

La méthodologie mise en œuvre pour estimer les émissions de $CO_2$ est la suivante :

- Chaux aérienne et magnésienne : niveau GIEC 1 avant 2000 et niveau 2/3 à partir de 2000 (données individuelles en partie),
- Chaux hydraulique : niveau GIEC 2/3 avant 2005 et niveau 3 à partir de 2005 (données individuelles),
- Chaux du secteur du raffinage en sucrerie : niveau GIEC 1.

*Remarque : la chaux est produite à partir de carbonate de calcium (le calcaire). Les émissions issues de la fabrication de chaux sur des sites spécifiques sont comptabilisées dans cette catégorie. A ceux-là s'ajoute* ***d'autres secteurs auto-producteurs de chaux pour leurs procédés****. Il s'agit :*

- ***des papeteries :*** *les émissions de $CO_2$ sont nulles car elles sont recyclées dans le procédé et ont pour origine la biomasse,*
- ***de la fabrication du carbonate de soude :*** *le $CO_2$ résultant de la fabrication de la chaux participe au procédé. L'excédent est émis à l'atmosphère et rapporté dans la catégorie 2B7.*

#### 4.2.1.3 Verre décarbonatation (2A3)

La décarbonatation dans la production de verre n'est pas une catégorie clé en 2023.

L'activité retenue pour ce secteur est la production de verre « neuf » qui correspond à la production totale de verre déduite du calcin externe (verre « recyclé ») introduit dans les fours.

Les sources de données relatives à la production qui ont été utilisées sont les suivantes :

- **Verre plat (030314)** : de 1990 à 2010, les données proviennent des statistiques du SESSI/INSEE [53]. Les statistiques de l'INSEE ne sont plus disponibles depuis 2011. Pour pallier ce problème, une production est estimée sur la base des déclarations individuelles des industriels [19] de l'année en cours et d'un ratio entre le total des déclarations individuelles et la donnée des statistiques relatives à l'année 2011. À partir de 2016, seules les déclarations individuelles des industrielles sont utilisées pour déterminer les niveaux de production [240].
- **Verre creux (030315)** : de 1990 à 2013, les données proviennent de la Fédération des Industriels du Verre [457]. Le rapport d'activité de la Fédération des Industriels du Verre n'est plus disponible depuis 2014. Pour pallier ce problème, une production est estimée sur la base des déclarations individuelles des industriels [19] de l'année en cours et d'un ratio entre le total des déclarations individuelles et la donnée des statistiques relatives à l'année 2013. Depuis 2016, les données sont communiquées directement par la Fédération des Industries du Verre [240].
- **Fibre de verre (030316)** : de 1990 à 2010, les données proviennent des statistiques du SESSI/INSEE [53]. Les statistiques de l'INSEE ne sont plus disponibles depuis 2011. Pour pallier ce problème, une production est estimée sur la base des déclarations individuelles des industriels [19] de l'année en cours et d'un ratio entre le total des déclarations individuelles et la donnée des statistiques relatives à l'année 2011. Depuis 2016, les données sont communiquées directement par la Fédération des Industries du Verre [240].
- **Verre technique (030317)** : de 1990 à 2004, les données proviennent des statistiques du SESSI/INSEE [53]. Depuis 2005, le SESSI ne fournit plus de donnée sur cette activité. Comme des écarts importants sont observés entre les statistiques de la Fédération des Industriels du Verre [457] et les statistiques du SESSI, la production retenue correspond à l'évolution entre deux années des statistiques de la Fédération des Industriels du Verre appliquée à la dernière année disponible du SESSI. Le rapport d'activité de la Fédération des Industriels du Verre n'est plus disponible depuis 2014. Pour pallier ce problème, une production est estimée sur la base des déclarations individuelles des industriels [19] de l'année en cours et d'un ratio entre le total des déclarations individuelles et la donnée des statistiques relatives à l'année 2013. Depuis 2016, les données sont communiquées directement par la Fédération des Industries du Verre [240].
- **Fibre minérale (030318) :** depuis 2001, les données de production proviennent des déclarations individuelles des industriels [19]. Avant cette date, faute de données précises, il est fait l'hypothèse du maintien de la production de 2001 depuis la date de mise en activité de chaque site industriel.

En 2023, la production de verre « neuf », provient d'une cinquantaine de sites situés en France métropolitaine (31 sites de production de verre creux, 5 sites de production de verre technique, 6 sites de production de verre plat, 9 sites de production de fibres de verre et 4 sites de production de laine de roche).

Des émissions de $CO_2$ sont comptabilisées pour les verres plats, creux et techniques, la fibre de verre et la laine de roche.

La méthodologie mise en œuvre pour estimer les émissions de $CO_2$ est de rang GIEC 2 ou 3 selon les années.

#### 4.2.1.4 Autres procédés utilisant des carbonates (2A4)

En 2023, pour la France au périmètre UE hors UTCATF, les autres procédés utilisant des carbonates ne sont pas une source clé.

***Tuiles et briques/céramique décarbonatation (2A4-a)***

En 2023, la production de tuiles et briques est assurée par environ 130 sites (dont 1 en Outre-mer - périmètre UE).

Par ailleurs, en 2023, la production de céramique est assurée par environ 80 sites de production.

La production de tuiles et briques/céramiques a connu de nombreuses fluctuations depuis 1990 avec un niveau relativement élevé entre 2003 et 2007 (pic en 2007). Entre 2007 et 2009, la production a fortement diminué et cette baisse représente 31 % entre 2007 et 2009. Bien qu'une reprise de l'activité se soit fait ressentir en 2010 et 2011 avec une augmentation de 25 % entre 2009 et 2011, une nouvelle baisse est ressentie depuis 2012. Le niveau en 2016 est le plus bas observé depuis 1990. Une légère reprise est observée en 2017, avec une stabilisation en 2018 et 2019. La pandémie de Covid-19, qui a notamment causé plusieurs confinements en France en 2020, a entrainé une baisse de la production de 8 % par rapport à 2019, et le niveau de production le plus bas sur l'ensemble de la série. En 2021, la production augmente de 14 %, pour atteindre le plus haut niveau observé depuis 2014. En 2022, la hausse de la production s'est poursuivie avec +1,6 % par rapport à 2021. Entre 2022 et 2023, la production repart à la baisse (-12,5%) et redescend presque au niveau de 2020.

La méthodologie mise en œuvre pour estimer les émissions de $CO_2$ est de rang GIEC 2/3 du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations.

**Autres utilisations de calcaire (2A4-b et 2A4-d)**

Ces deux catégories sont émettrices de $CO_2$.

**Autres utilisations du carbonate de sodium et bicarbonate de sodium (2A4-b)**

Cette catégorie correspond aux autres utilisations du carbonate de sodium et du bicarbonate de sodium (2A4-b).

Le carbonate de sodium est principalement utilisé dans l'industrie du verre, dans l'industrie de la détergence (agent de blanchiment) et dans l'industrie chimique. Le bicarbonate de sodium est quant à lui utilisé dans l'industrie de la détergence, mais également pour des usages alimentaires ou médicinaux.

**Autres utilisations de calcaire (2A4-d)**

Afin d'assurer l'exhaustivité dans la prise en compte des émissions de $CO_2$ induites par l'utilisation de matières carbonées et carbonatées, une analyse fine de l'ensemble des 10 000 installations françaises soumises au système déclaratif a été réalisée afin de définir l'ensemble des secteurs utilisateurs de carbonates.

Les émissions de $CO_2$ sont donc prises en compte pour chacun de ces secteurs utilisateurs, soit dans ce code CRT, soit dans un autre code CRT tel que mentionné ci-après qui correspond au secteur qui l'utilise.

Il ressort de cette analyse que les secteurs utilisateurs de carbonates ou matières carbonées sont les suivants :

- fonderie de fonte (CRT 2C7)
- émail (CRT 2A4d)
- papier (CRT 2H1)
- technique de désulfuration sur certaines usines de chauffage urbain et centrales thermiques avec utilisation de calcaire, de carbonate de calcium ou de bicarbonate de sodium (CRT 2G4)
- utilisation d'urée par les systèmes de traitement des $NO_x$ (déNO$_x$) de type SCR (réduction sélective catalytique) par certaines centrales thermiques (CRT 2D3d)

- dolomie pour produire du magnésium (CRT 2C7)
- matières carbonées utilisées sur certains sites chimiques (CRT 2B10)
- sidérurgie – castine en agglomération (CRT 2C1a) et sidérurgie – utilisation de carbonates dans les aciéries électriques (CRT 2C1f)
- installation de métaux non ferreux (production de zinc) (CRT 2C6)
- installation silicium et ferro-silicum (CRT 2C7)
- verrerie (CRT 2A3)
- chaux (CRT 2A2)
- ciment (CRT 2A1)
- tuiles/briques (CRT 2A4a)
- céramique (CRT 2A4a)

De plus, pour construire des routes, des matières calcaires et de la dolomie sont utilisées [762]. Toutefois, compte tenu du niveau des températures dans les sécheurs des centrales d'enrobage (maximum 200°C), il n'est pas attendu d'émission de $CO_2$ induites par la décarbonatation car ce phénomène se produit pour des températures avoisinant 800°C.

La méthodologie mise en œuvre pour estimer les émissions de $CO_2$ du code CRT 2A4-d est de rang GIEC 3 et de rang GIEC 1 pour le code CRT 2A4-b.

## 4.2.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/donnees-air-climat/methodologie-de-linventaire-ominea/

Les seules émissions induites dans ce secteur CRT 2A sont celles relatives au $CO_2$.

### 4.2.2.1 Ciment décarbonatation (2A1)

***Emissions de $CO_2$***

La méthode appliquée est de rang GIEC 2 voire 3 pour les années les plus récentes (cf. schéma ci-dessus).

Le facteur d'émission de $CO_2$ est déterminé, d'une part, pour la production de ciment aluminate et, d'autre part, pour la production des autres types de ciments.

***Particularités***

À la suite de l'application de l'arrêté du 28 juillet 2005 puis de l'arrêté du 31 mars 2008 et enfin de l'arrêté du 21 décembre 2020 relatifs à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système communautaire d'échange des quotas d'émissions de gaz à effet de serre, les industriels déclarent précisément leurs émissions de $CO_2$ issues de la décarbonatation. Ces informations permettent, à partir de l'année 2004, de connaître par une approche *bottom-up* les émissions de cette activité ce qui explique l'évolution du facteur d'émission déduit à partir de l'année 2004. Ces données sont utilisées afin d'affiner les estimations sur la période 1990-2004 et assurer la cohérence de la série temporelle.

En fonction des données disponibles et de l'année, la méthodologie diffère. Elle est synthétiquement explicitée ci-dessous.

**Ciment aluminate**

Les sites de production de ciment aluminate n'existent qu'en France métropolitaine et ils sont au nombre de trois. Toutefois, compte tenu des matières premières utilisées, les trois sites sont à l'origine d'émissions induites par la décarbonatation dont l'un avec des émissions de $CO_2$ très faibles (inférieures à 300 t $CO_2$).

En 2022, la production de ciment aluminate représente moins de 5 % de la production nationale de clinker.

Les données de production de clinker aluminate pour certaines années sont présentées dans le tableau suivant (uniquement en France métropolitaine).

**Tableau 90 : production de clinker aluminate (uniquement en France métropolitaine) en kt**

| Production de clinker aluminate (kt) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***1990*** | ***1995*** | ***2000*** | ***2005*** | ***2010*** | ***2011*** | ***2012*** | ***2013*** | ***2014*** |
| 626 | 494 | 490 | 505 | 545 | 513 | 479 | 481 | 498 |
| ***2015*** | ***2016*** | ***2017*** | ***2018*** | ***2019*** | ***2020*** | ***2021*** | ***2022*** | ***2023*** |
| 475 | 531 | 578 | 590 | 548 | 480 | 552 | 515 | 505 |

La méthodologie mise en œuvre est la suivante. Cette méthodologie permet d'assurer une cohérence temporelle.

→ Avant 2004, le facteur d'émission moyen calculé sur la période 2008 – 2009 est appliqué à la production de clinker aluminate (méthode appliquée : rang GIEC 2).

→ A partir de 2004, les déclarations annuelles sont utilisées [19] (les émissions induites par les poussières de by-pass sont intégrées) (méthode appliquée : rang GIEC 3).

Les facteurs d'émission résultants pour la décarbonatation de la production de clinker aluminate sont présentés dans la base de données OMINEA (pour toutes les années).

La variation des facteurs d'émission est liée à la teneur en carbone dans la matière première.

#### Autres types de ciments

Les sites de production de ciment classique n'existent qu'en France métropolitaine.

Les données de production des autres types de clinker pour certaines années sont présentées dans le tableau suivant (uniquement en France métropolitaine).

**Tableau 91 : Production des autres types de clinker (uniquement en France métropolitaine) (kt)**

| Production des autres types de clinker (kt) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***1990*** | ***1995*** | ***2000*** | ***2005*** | ***2010*** | ***2011*** | ***2012*** | ***2013*** | ***2014*** |
| 20 228 | 15 971 | 15 833 | 16 824 | 14 437 | 14 771 | 13 718 | 13 299 | 12 645 |
| ***2015*** | ***2016*** | ***2017*** | ***2018*** | ***2019*** | ***2020*** | ***2021*** | ***2022*** | ***2023*** |
| 12 066 | 12 138 | 11 779 | 12 255 | 12 388 | 11 291 | 11 690 | 11 529 | 10 505 |

La méthodologie mise en œuvre est la suivante. Elle permet d'assurer une cohérence temporelle sur l'ensemble de la période.

→ Avant 2004, ne disposant pas des déclarations annuelles des exploitants, plusieurs estimations sont effectuées pour chacune des trois sources et les émissions finales correspondent à la somme de ces trois sources :

- Tout d'abord, les émissions induites par la calcination des carbonates dans les matières premières sont estimées par année sur la base du facteur d'émission de 525 kg/t clinker [348 – annexe VI] et de la production relative aux autres types de clinker.
- Par ailleurs, une fois cette première source quantifiée, les émissions de $CO_2$ induites par la calcination totale ou partielle des poussières sont estimées sur la base d'un ratio de 0,4 % des émissions induites par la calcination des carbonates dans les matières premières. Ce ratio est déterminé à partir des données rapportées pour l'année 2009 par les exploitants [19].
- Enfin, les émissions de $CO_2$ induites par le carbone non issu des carbonates de la farine crue sont estimées sur la base d'un ratio de 1,1 % des émissions induites par la calcination des carbonates dans les matières premières. Ce ratio est déterminé à partir des données rapportées pour l'année 2009 par les exploitants [19].

→ De 2004 à 2007, les déclarations annuelles [19] sont utilisées et les émissions de chaque site sont corrigées (majoration) pour tenir compte du carbone non issu des carbonates de la farine crue et des poussières de four et de by-pass qui ne sont pas estimées par les exploitants durant cette période dans leurs déclarations (méthode appliquée : mix entre les rangs GIEC 2 et 3). Les émissions déclarées sont donc majorées à partir d'un ratio déterminé avec les données rapportées pour l'année 2009 par les exploitants [19]:

- majoration de 1,1 % des émissions induites par la calcination des carbonates dans les matières premières pour estimer les émissions induites par le carbone non issu des carbonates de la farine crue,
- majoration de 0,4 % des émissions induites par la calcination des carbonates dans les matières premières pour estimer les poussières de four et celles de by-pass.

→ A partir de 2008, les déclarations annuelles [19] comprennent la totalité des éléments relatifs à la décarbonatation pour les installations concernées (méthode appliquée : rang GIEC 3).

Le tableau suivant présente une synthèse des différentes méthodes mises en œuvre depuis 1990.

**Tableau 92 : Méthodes mises en œuvre pour le calcul des émissions de $CO_2$ du secteur de la production de ciment**

| | Ciment aluminate | Autres types de ciment |
|---|---|---|
| Avant 2004 | Utilisation du facteur d'émission de $CO_2$ moyen déterminé sur la période 2008-2009, appliqué sur la production de ciment aluminate | Utilisation du facteur d'émission de 525 kg/t clinker, majoré des poussières by-pass et de la farine crue, appliqué sur la production relative aux autres types de ciment |
| De 2004 à 2007 | Utilisation des émissions issues des déclarations individuelles des industriels, majorées des émissions de poussières issues de la farine crue (site ne disposant pas de by-pass) | Utilisation des émissions issues des déclarations individuelles des industriels (quotas), majorées des émissions de poussières issues de la farine crue |
| A partir de 2008 | Utilisation des émissions issues des déclarations individuelles des industriels (site ne disposant pas de by-pass et farine crue inclus) | Utilisation des émissions issues des déclarations individuelles des industriels (quotas) (les émissions induites par les poussières de by-pass et farine crue sont déjà incluses) |

Les facteurs d'émission résultants pour la décarbonatation de la production des autres types de production de clinker et pour l'ensemble de la production de ciment sont présentés dans la base de données OMINEA (pour toutes les années).

Enfin, pour l'ensemble de la production de ciment, la distinction entre la part induite par les émissions provenant de la calcination totale ou partielle des poussières et du carbone non issu des carbonates de la farine crue de celle des émissions provenant de la calcination des carbonates est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau 93 : Part des différentes sources d'émission dans le facteur d'émission induit du $CO_2$ pour la décarbonatation dans le secteur du ciment**

| | *Avant 2010* | *2010* | *2011* | *2012* | *2013* | *2014* | *2015* | *2016* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Part des émissions induites par la calcination des carbonates (%) | 98,5% | 98,5% | 98,3% | 98,6% | 98,1% | 98,2% | 98,2% | 98,3% |
| Part des émissions induites par les poussières de by-pass et le carbone non issu des carbonates de la farine crue (%) | 1,5% | 1,5% | 1,7% | 1,4% | 1,9% | 1,8% | 1,8% | 1,7% |
| | *2017* | *2018* | *2019* | *2020* | *2021* | *2022* | *2023* | |
| Part des émissions induites par la calcination des carbonates (%) | 98,3% | 98,0% | 98,0% | 98,3% | 97,7% | 96,6% | 96,6% | 95,7% |
| Part des émissions induites par les poussières de by-pass et le carbone non issu des carbonates de la farine crue (%) | 1,7% | 2,0% | 2,0% | 1,7% | 2,3% | 3,4% | 3,4% | 4,3% |

### 4.2.2.2 Chaux décarbonatation (2A2)

→ **Pour les producteurs de chaux**

En termes de méthodologie de calcul des émissions, deux approches sont mises en œuvre selon le type de chaux : chaux hydraulique et les autres types de chaux (chaux aérienne et magnésienne).

**A1. Chaux hydraulique**

Tout le calcium n'étant pas décarbonaté dans le cas de la production de la chaux hydraulique, les émissions de $CO_2$ proviennent des données des industriels [19, 195].

Les émissions de $CO_2$ induites par la chaux hydraulique représentent entre 1,5 et 4 % des émissions totales.

Comme pour la chaux aérienne, le règlement 2018/2066 relatif à la surveillance et la déclaration des émissions dans le cadre du SEQE propose deux méthodes de calcul pour estimer les émissions de $CO_2$ de la production de chaux (annexe II, sections 4 et 5 et annexe IV, section 10) :

- méthode A basée sur la consommation des carbonates. Il est indiqué que dans ce cas, les émissions des poussières de by-pass ne doivent pas être ajoutées ;
- méthode B basée sur la production de chaux. Dans ce cas, si le site dispose d'un système de by-pass alors le site doit comptabiliser les émissions de $CO_2$ liées aux poussières de by-pass.

Depuis 2005, les émissions sont déterminées dans les déclarations [19] sur la base de la méthode A donc il ne convient pas d'ajouter les émissions des poussières de by-pass. Avant 2005, les émissions proviennent soit des données communiquées par les sites industriels, soit du calcul à partir de la production du site et du facteur d'émission déterminé pour 2005 pour le site en question.

Ainsi, on peut conclure que les émissions de $CO_2$ liées aux poussières de by-pass sont exhaustives pour la chaux hydraulique sur toute la série temporelle.

Les méthodes de calcul des émissions de $CO_2$ pour ce type de chaux sont présentées ci-dessous selon l'année considérée (cf. schéma ci-dessous et méthodologie associée). Dans tous les cas, une cohérence temporelle est assurée.

**Tableau 94 : Méthodes de calcul des émissions de $CO_2$ pour la chaux hydraulique**

| 1990 — 2004 | 2005 — Aujourd'hui |
|---|---|
| Niveau GIEC Tier 2 & 3 | Niveau GIEC Tier 3 |
| Emissions $CO_2$ = communication directe des émissions de $CO_2$ pour 2 sites [195] + production du site x facteur d'émission déterminé en 2005 pour ce site | Emissions $CO_2$ des déclarations annuelles [19] ou des communications des sites [195] |

De 1990 à 2004, les émissions de $CO_2$ pour le secteur de la production de chaux hydraulique proviennent, d'une part, des données de $CO_2$ directement communiquées par certains sites industriels (2 sites) et, d'autre part, pour les autres sites, de la production des sites et du facteur d'émission déterminé pour l'année 2005 sur la base des déclarations ou des communications.

Depuis 2005, les émissions de $CO_2$ pour le secteur de la production de chaux hydraulique ne proviennent que des déclarations annuelles des industriels [19] ou des données communiquées par les sites [195].

**Tableau 95 : Part de la production de chaux hydraulique dans la production nationale (%)**

| Part de la production de chaux hydraulique dans la production nationale (%) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***1990*** | ***1995*** | ***2000*** | ***2005*** | ***2010*** | ***2011*** | ***2012*** | ***2013*** | ***2014*** |
| 3,6 | 4,5 | 5,2 | 5,9 | 5,3 | 4,9 | 5,0 | 4,8 | 4,8 |
| ***2015*** | ***2016*** | ***2017*** | ***2018*** | ***2019*** | ***2020*** | ***2021*** | ***2022*** | ***2023*** |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4,9 | 5,1 | 4,6 | 5,3 | 4,8 | 5,3 | 4,9 | 5,4 | 6,1 |

#### A2. Autres types de chaux (hors chaux hydraulique)

Cette section concerne la chaux aérienne ainsi que la chaux magnésienne.

Le facteur d'émission de $CO_2$ est déterminé à partir de la réaction chimique :

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

Le facteur d'émission pour la chaux calcique communiqué par la profession est de 785 kg $CO_2$ / t chaux calcique produite [194]. Ce facteur est également celui proposé dans le cadre de la directive quotas de gaz à effet de serre. Il correspond à la valeur stœchiométrique de la réaction chimique ci-dessus [614].

$CaCO_3, MgCO_3 \rightarrow CaO, MgO + 2\ CO_2$

Le facteur d'émission pour la chaux dolomitique est de 913 kg $CO_2$ / t chaux dolomitique [614]. Il s'agit de la valeur stœchiométrique de la réaction chimique.

Toutefois, dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre, les industriels peuvent réaliser des mesures sur la teneur en carbone des pierres utilisées et de fait utiliser un facteur d'émission différent de celui obtenu par défaut.

Les éventuelles corrections effectuées pour tenir compte des impuretés conformément à la méthode appliquée dans le cadre du Système d'Echange de Quotas d'Emissions (SEQE) sont prises en compte [19].

De plus, des émissions de $CO_2$ induites par les poussières de by-pass doivent être comptabilisées, si le site dispose de cette technique.

D'après le règlement 2018/2066 relatif à la surveillance et la déclaration des émissions dans le cadre du SEQE, deux méthodes de calcul sont possibles pour estimer les émissions de $CO_2$ de la production de chaux (annexe II, sections 4 et 5 et annexe IV, section 10) :

- méthode A basée sur la consommation des carbonates. Il est indiqué que, dans ce cas, les émissions des poussières de by-pass sont déjà prises en compte et ne doivent donc pas être ajoutées au total estimé ;
- méthode B basée sur la production de chaux. Dans ce cas, si le site dispose d'un système de by-pass, alors le site doit ajouter les émissions de $CO_2$ liées aux poussières de by-pass.

Dans le cas des déclarations, pour la chaux aérienne/magnésienne [19] :

- 9 sites déclarent selon la méthode A
- 7 sites déclarent selon la méthode B et parmi les 7 sites, uniquement 2 déclarent des émissions de $CO_2$ liées aux poussières de by-pass.

Deux périodes interviennent pour les sites de production de chaux aérienne/magnésienne :

##### Période après 2013

Les données proviennent des déclarations annuelles qui prennent en compte les émissions liées aux particules de by-pass pour les deux sites en question. Les émissions de $CO_2$ sont donc exhaustives.

Pour la partie surfacique, le calcul est basé sur un facteur d'émission moyen de l'année considérée.

Ainsi, on peut conclure que les émissions de $CO_2$ sont exhaustives (elles incluent selon les sites les émissions des poussières de by-pass).

##### Période 1990-2012

Avant 2013, les déclarations ne prennent pas en compte les poussières de by-pass. Il convient donc d'ajouter aux émissions déclarées les émissions liées aux particules de by-pass.

Pour les différentes années à partir de 2013, à partir des émissions de $CO_2$ liées aux poussières de by-pass pour les deux sites concernés, la part que représentent ces émissions sur les émissions totales est déterminée. Un ratio moyen calculé sur la période 2013/2016 est appliqué aux émissions de $CO_2$ déterminées via les déclarations et via la méthode mise en œuvre pour le surfacique : ce ratio est de 0,2 %.

Ainsi, les méthodes de calcul des émissions de $CO_2$ pour ce secteur, dépendant de l'année, sont présentées sur le schéma ci-dessous. Les particularités méthodologiques associées par période sont explicitées ci-dessous. Dans tous les cas, une cohérence temporelle est assurée.

**Tableau 96 : Niveau de méthodologie déployé dans l'estimation des émissions de $CO_2$ pour la production de chaux aérienne et magnésienne**

| 1990 | 2004 | 2008 |
|---|---|---|
| Niveau GIEC Tier 1 | Niveau GIEC Tier 2 & 3 | Niveau GIEC Tier 2 & 3 |
| P1 = Emissions $CO_2$ chaux<br>= production nationale de chaux aérienne x 785 kg/t<br>+ production nationale de chaux magnésienne x 913 kg/t<br><br>(valeurs stœchiométriques [614]) | P1 = Emissions $CO_2$ chaux<br>= Emissions $CO_2$ des déclarations annuelles (peu de sites) [19]<br>+ (production nationale chaux aérienne et magnésienne - production des sites utilisés en approche individuelle) x facteur d'émission moyen déterminé en 2004 | P1 = Emissions $CO_2$ chaux<br>= Emissions $CO_2$ des déclarations annuelles [19]<br>+ (production nationale chaux aérienne etmagnésienne – production des sites utilisés en approche individuelle) x facteur d'émission moyen déterminé par année à partir des données déclarées |
| P2 = Emissions poussières de by-pass = P1 x 0,2%<br>P3 = émissions $CO_2$ chaux totales = P1 + P2 | P2 = Emissions poussières de by-pass = P1 x 0,2%<br>P3 = émissions $CO_2$ chaux totales = P1 + P2 | P2 = Emissions poussières de by-pass<br>= P1 x 0,2% (uniquement de 2003 à 2012)<br>P3 = émissions CO2 chaux totales = P1 + P2 |

De 1990 à 2000, les émissions de $CO_2$ sont déterminées à partir des productions nationales annuelles par type de chaux (chaux aérienne et chaux magnésienne) et des facteurs stœchiométriques [614]. Une fois ces émissions calculées, il convient d'ajouter les émissions liées aux poussières de by-pass qui correspondent aux émissions déterminées précédemment auxquelles on applique le ratio de 0,2 %.

De 2001 à 2002, les émissions de $CO_2$ induites par la décarbonatation sont connues pour un nombre très restreint de sites via les déclarations annuelles de polluants [19]. Pour les autres sites, les émissions correspondent au produit entre la différence de la production nationale de chaux aérienne et magnésienne et de la production des sites utilisés en approche individuelle et du facteur d'émission moyen déterminé en 2004 (première année pour lesquelles des données individuelles sont plus complètes). Une fois ces émissions calculées, il convient d'ajouter les émissions liées aux poussières de by-pass qui correspondent aux émissions déterminées précédemment auxquelles on applique le ratio de 0,2 %.

Depuis 2003, les émissions de $CO_2$ induites par la décarbonatation sont connues pour un nombre plus important de sites via les déclarations annuelles de polluants [19]. Pour les autres sites, les émissions correspondent au produit entre la différence de la production nationale de chaux aérienne et magnésienne et de la production des sites utilisés en approche individuelle et du facteur d'émission moyen déterminé annuellement à partir des données de $CO_2$ déclarées par les sites. Une fois ces émissions calculées, pour la période 2003-2012, il convient d'ajouter les émissions liées aux poussières de by-pass qui correspondent aux émissions déterminées précédemment auxquelles on applique le ratio de 0,2 %.

Les facteurs d'émission obtenus pour l'ensemble de ce secteur sont dépendants de la qualité des pierres utilisées et du mix entre la chaux aérienne (i.e. chaux vive et chaux éteinte) et la chaux magnésienne. Ils sont présentés ci-après.

**Tableau 97 : Facteur d'émission de $CO_2$ pour la production de chaux aérienne et magnésienne (en kg/t chaux)**

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FE $CO_2$ (kg/t chaux aérienne et magnésienne) | 790 | 792 | 792 | 769 | 742 | 730 | 716 | 729 | 739 | 734 | 723 |
| | **2021** | **2022** | **2023** | | | | | | | | |
| FE $CO_2$ (kg/t chaux aérienne et magnésienne) | 740 | 717 | 681 | | | | | | | | |

**Tableau 98 : Part de la production de chaux vive dans la production nationale (%)**

| Part de la production de chaux vive dans la production nationale (%) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***1990*** | ***1995*** | ***2000*** | ***2005*** | ***2010*** | ***2011*** | ***2012*** | ***2013*** | ***2014*** |
| 89,2 | 87,9 | 87,2 | 86,6 | 86,4 | 86,0 | 86,5 | 87,1 | 86,1 |
| ***2015*** | ***2016*** | ***2017*** | ***2018*** | ***2019*** | ***2020*** | ***2021*** | ***2022*** | ***2023*** |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 86,6 | 86,0 | 83,5 | 85,4 | 85,5 | 86,9 | 86,3 | 85,5 | 82,8 |



Ainsi, dans de nombreux cas, les émissions sont déterminées sur la base des déclarations annuelles par une approche individuelle (approche site par site).

Le tableau suivant présente, en fonction des années, le nombre d'installations de production de chaux (hydraulique et autre) pour lesquels des données sont disponibles.

**Tableau 99 : Nombre d'installations produisant de la chaux (hydraulique et autre) et nature des données utilisées**

| | Nombre d'installations pour lesquelles les données individuelles sont disponibles | Nombre d'installations pour lesquelles un facteur d'émission moyen est utilisé | Nombre total d'installations |
|---|---|---|---|
| **1994** | 2 | 34 | 36 |
| **1995** | 2 | 33 | 35 |
| **1999** | 2 | 20 | 22 |
| **2000** | 2 | 20 | 22 |
| **2001** | 3 | 19 | 22 |
| **2002** | 9 | 13 | 22 |
| **2003** | 14 | 8 | 22 |
| **2004-2021** | 22 | 0 | 22 |
| **2022** | 21 | 0 | 21 |
| **2023** | 21 | 0 | 21 |

→ **Chaux produite par le secteur de la production de sucre de betteraves (autoproduction)**

Dans le cas des sucreries, les émissions relatives à la production de chaux sont déterminées à partir de la quantité de chaux estimée et du facteur d'émission spécifique à ce secteur.

Comme il n'existe pas de données sur la consommation de roches des auto-producteurs en sucrerie, les données sont estimées à partir des informations connues sur les écumes de sucrerie.

La formule suivante est mise en œuvre pour estimer la production de chaux du secteur des sucreries :

Quantité de chaux produite (CaO) (t) = R1 x R2 /100 x (masse molaire CaO / masse molaire $CaCO_3$) x quantité de betteraves produite brute (t) /1000

soit

Quantité de chaux produite (CaO) (t) = R1 x R2 /100 x (56,1/100,1) x quantité de betteraves produite brute (t) /1000

Avec :

- R1 = 18 kg roche calcaire/ tonne betterave [527],
- R2 = 98% $CaCO_3$/roche calcaire (hypothèse retenue par le Citepa car pour le raffinage des betteraves, les roches calcaires doivent être de très grande qualité)

Le facteur d'émission de $CO_2$ est déterminé à partir de la réaction chimique suivante :

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

Un rendement de 98 % de récupération des carbonates dans les écumes des sucreries est retenu sur toute la période, afin d'estimer la quantité de $CO_2$ émis pour la production de chaux en sucreries. Les émissions estimées correspondent aux éventuelles pertes à l'atmosphère suite à l'injection de CO2 pour la carbonatation du jus de sucre (élimination des impuretés).

Il convient de noter que le point 10 de l'annexe IV du règlement 2018/2066 indique qu'il n'y a pas d'émission comptabilisée « lorsque la chaux vive et le $CO_2$ issus du calcaire sont utilisés dans des procédés de purification, de sorte qu'approximativement la même quantité de $CO_2$ se trouve à nouveau sous forme liée ». Toutefois, pour éviter toute sous-

estimation des émissions, une valeur de 2 % de pertes est incluse dans le calcul, d'où la valeur de rendement égale à 98 %, comme mentionné plus haut. Le facteur d'émission est donc déterminé à l'aide de la formule suivante :

FE $CO_2$ (kg/t chaux) = masse molaire $CO_2$ / masse molaire $CaCO_3$ x 1000 x (1 - 98/100)

Les émissions relatives à la production de chaux pour le raffinage des betteraves en sucrerie ne représentent qu'environ 0,2 % des émissions totales de ce secteur, selon les années.

**Tableau 100 : Part de la production de chaux produite en sucreries dans la production nationale (%)**

| Part de la production de chaux produite en sucreries dans la production nationale (%) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***1990*** | ***1995*** | ***2000*** | ***2005*** | ***2010*** | ***2011*** | ***2012*** | ***2013*** | ***2014*** |
| 7,2 | 7,5 | 7,7 | 7,5 | 8,3 | 9,1 | 8,5 | 8,0 | 9,1 |
| ***2015*** | ***2016*** | ***2017*** | ***2018*** | ***2019*** | ***2020*** | ***2021*** | ***2022*** | ***2023*** |
| 8,5 | 9,0 | 11,8 | 9,4 | 9,6 | 7,8 | 8,7 | 9,1 | 11,1 |

Les émissions de $CO_2$ provenant de la production de chaux en sucreries sont comptabilisées dans le secteur 2A2. Ces émissions tiennent compte de la récupération de $CO_2$ dans les écumes de sucreries, comme expliqué ci-dessus. Ainsi, les émissions déclarées sont des émissions nettes : émissions totales auxquelles on soustrait le $CO_2$ récupéré.

La récupération de $CO_2$ provenant de la production de chaux dans les sucreries est déclarée comme récupération de $CO_2$ dans le secteur 2H2. Cette valeur est donnée entièrement à titre informatif, car la quantité récupérée est déjà incluse dans les émissions nettes de $CO_2$ du secteur 2A2.

### 4.2.2.3 Verre décarbonatation (2A3)

Les émissions de $CO_2$ de la décarbonatation dans la production de verre sont déterminées à partir du produit entre la production nationale de verre neuf et le facteur d'émission national.

Elles sont induites par l'utilisation de diverses matières premières telles que le calcaire, la dolomie, le carbonate de soude et le bicarbonate de soude.

La production de verre neuf est déterminée comme suit :

Production de verre neuf = production de verre totale – quantité de calcin externe utilisée

Les sources de données de production nationale par type de verre produit sont décrites ci-dessus.

La quantité de calcin externe utilisée est fournie annuellement par la Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du Verre [457] [240].

Le facteur d'émission établi à partir de données de la profession est de 185 kg $CO_2$/ t verre neuf [240]. Ce facteur est supposé constant de 1990 à 2003 car les données permettant de connaître les variations annuelles ne sont pas disponibles.

A partir de 2004, les données disponibles dans le cadre du système d'échange des quotas de gaz à effet de serre [19] permettent d'apprécier les fluctuations annuelles. Le facteur d'émission est calculé à partir des déclarations annuelles des émissions de polluants [19]. Il se situe autour de la valeur fournie par la profession.

### 4.2.2.4 Autres procédés utilisant des carbonates (2A4)

**Tuiles et briques/céramique décarbonatation (2A4-a)**

***Tuiles et briques décarbonatation***

Le $CO_2$ de la décarbonatation a une provenance chimique et il provient de la transformation du calcaire ($CaCO_3$) en $CO_2$ et en chaux (CaO) selon la réaction chimique :

$$CaCO_3 \text{ à } CaO + CO_2$$

Plusieurs méthodologies sont mises en œuvre en fonction des années :

→ De 1990 à 2003, le facteur d'émission utilisé est celui communiqué par la profession [242], appliqué à la production nationale [241].

→ A partir de 2004, les émissions sont déterminées en utilisant les déclarations annuelles de polluants [19] et, pour le reste de la production, en utilisant le facteur d'émission de la profession [242].

La plupart des sites déclarant leurs émissions annuelles de polluants [19] sont des sites soumis au SEQE-UE. Ces émissions déclarées sont vérifiées par un vérificateur indépendant, assurant ainsi un niveau qualitatif plus élevé des estimations réalisées. Par ailleurs, un contrôle de cohérence est effectué entre les émissions déclarées par les sites soumis au SEQE-UE et le calcul effectué avec le facteur d'émission communiqué par la profession [242].

***Céramique décarbonatation***

Le $CO_2$ lié à la décarbonatation de ce secteur d'activité provient de la calcination du calcaire, de la dolomie et des autres carbonates présents dans les matières premières, ainsi que du calcaire et des autres carbonates utilisés pour la réduction des émissions de polluants atmosphériques, et des additifs organiques.

Les émissions sont, soit déclarées directement [19], soit recalculées à partir de la production et d'un facteur d'émission par défaut [1191].

La production nationale de céramiques fines provient de la Confédération des Industries céramiques de France [251]. A partir de 2013, la valeur de production nationale n'est plus communiquée par la Confédération. Afin d'estimer la production nationale, le ratio moyen « production nationale / somme des productions déclarées par les sites industriels » de la période 2004 à 2012 est appliqué à la somme des productions déclarées chaque année depuis 2013 par les sites industriels.

Le $CO_2$ lié à la décarbonatation a une provenance chimique et il provient de la transformation du calcaire ($CaCO_3$) en $CO_2$ et en chaux (CaO) selon la réaction chimique :

$CaCO_3$ à $CaO + CO_2$

Plusieurs méthodologies sont mises en œuvre en fonction des années :

→ A partir de 2013, les émissions déclarées pour certains sites via les déclarations annuelles de polluants [19] sont utilisées. Pour le reste de la production nationale, le facteur d'émission par défaut proposé par la Commission européenne [1191] est appliqué. Un facteur d'émission national moyen est ainsi déterminé en sommant les émissions, ramenées ensuite à la production nationale.

→ De 1990 à 2012, faute de données, le facteur d'émission appliqué est le facteur moyen national déterminé en 2013, sur la base de l'ensemble des émissions qui proviennent, soit des déclarations annuelles [19], soit calculées à partir du facteur par défaut proposé par la Commission européenne [1191] et de la production restante.

Certains des sites déclarant leurs émissions annuelles de polluants [19] sont des sites soumis au système de quotas (SEQE-UE). Ces émissions déclarées sont vérifiées par un vérificateur indépendant, assurant ainsi un niveau qualitatif plus élevé sur les émissions déclarées.

**Autres utilisations de calcaire (2A4-b et 2A4-d)**

***Autres utilisations de carbonates de sodium (2A4-b)***

Le carbonate de sodium est principalement utilisé dans l'industrie du verre, dans l'industrie de la détergence (agent de blanchiment) et dans l'industrie chimique. Le bicarbonate de sodium est quant à lui utilisé dans l'industrie de la détergence, mais également pour des usages alimentaires ou médicinaux.

Le carbonate de sodium et le bicarbonate de sodium sont consommés dans de nombreux secteurs, dont certains sont comptabilisés spécifiquement dans l'inventaire.

Les quantités de carbonate et bicarbonate de sodium font l'objet de calculs d'émissions prises en compte dans les secteurs émetteurs suivants :

- L'industrie du verre,
- Les autres secteurs mettant en œuvre de la décarbonatation (autres métaux non ferreux, industrie cimentière, etc.)

Afin d'assurer la complétude de l'inventaire, la quantité prise en compte pour l'utilisation de carbonate de sodium et bicarbonate de sodium est calculée à partir de la quantité produite de ces deux éléments, à laquelle les imports sont ajoutés et les exports soustraits, correspondant ainsi à la consommation nationale.

Pour éviter les doubles comptes dans le calcul des émissions, les quantités de carbonate et bicarbonate de sodium utilisées dans les secteurs précédemment cités sont retirées de la consommation nationale. Ainsi, connaissant les

quantités de carbonate et de bicarbonate de sodium utilisées dans l'industrie du verre [240] et les autres secteurs, les quantités à prendre en compte sont déduites.

**Emissions de $CO_2$ :**

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC [244].

*Utilisation de carbonates dans la production d'émail (2A4-d)*

L'émail est un mélange de silice, de minium, de potasse et de soude. Par la fusion à haute température de ces différents éléments suivie d'un broyage, est obtenue une poudre incolore appelée "fondant" qui, par sa nature, s'apparente davantage au cristal qu'au verre. L'émail peut être soit transparent, soit opaque. La coloration du fondant s'obtient par addition d'oxydes métalliques réduits en poudre.

L'émaillage consiste à fixer la poudre d'émail sur son support métallique par des cuissons successives et rapides de l'ordre de 800 degrés. L'or, l'argent, le cuivre, l'acier peuvent constituer le support de toute pièce émaillée.

Comme indiqué en préambule, les émissions visées dans cette section sont celles liées au phénomène de décarbonatation dans les installations de production d'émaux.

En France, il y a très peu de sites de production d'émail. Seuls deux de ces sites sont soumis à la déclaration annuelle des rejets de polluants atmosphériques du fait de leur taille. Un seul de ces deux sites met en œuvre des matériaux engendrant une décarbonatation. Ce site est fermé depuis avril 2010.

Les données de production nationales sont connues pour les sites de production d'émail via la déclaration annuelle de polluants [19] depuis 2004. Avant cette date, faute de données, la production est supposée être celle de 2004. L'ensemble des données de production est confidentiel.

En France, quatre sites de production d'émail sont identifiés. Seuls deux de ces sites sont soumis à la déclaration annuelle des rejets de polluants atmosphériques du fait de leur taille. Faute d'informations, seuls ces deux sites sont retenus dans l'inventaire national.

Parmi ces deux sites, un seul, en activité depuis 1962, utilise des matières premières carbonatées. Ce site a fermé en avril 2010.

Les émissions nationales sont déterminées à partir des éléments suivants :

**A partir de 1999**, les données d'émission sont disponibles pour le site de production via les déclarations annuelles [19].

**Avant 1999**, le facteur d'émission moyen déterminé pour l'année 1999 est utilisé sur l'ensemble de la période (1990-1998).

Compte tenu du nombre d'installations concernées, les facteurs d'émission de $CO_2$ ne sont pas communiqués.

Les fluctuations observées entre les années s'expliquent par la variabilité de la teneur en carbone de la matière première.

## 4.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par Tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 2A).

L'incertitude des données d'activité est de 5 % ; basée sur les lignes directrices du GIEC [IPCC – Guidelines 2006 – Volume 3 – Chapitre 2 Combustion sources mobiles, Table 2.3]. Etant donné que ce secteur est contraint par des quotas, par conséquent les données des activités sont bien suivies, l'incertitude des données d'activité est cohérente avec les gammes d'incertitudes des quotas de l'annexe 2 du règlement 601-2012.

L'incertitude sur les facteurs d'émission de $CO_2$ est basée sur les lignes directrices du GIEC [IPCC – Guidelines 2006 – Volume 3 – Chapitre 2 Combustion sources mobiles, Table 2.3], tenant en compte l'appréciation des experts. Cette incertitude est de 8 %.

La cohérence temporelle des séries est respectée. En effet, les données provenant des déclarations des exploitants utilisées pour les années récentes sont prises en compte pour recalculer les séries dans les années antérieures lorsque cela s'avère nécessaire.

Des contacts avec certains industriels permettent aussi d'obtenir des données pour les années antérieures aux déclarations. Dans tous les cas, les années manquantes sont complétées en s'appuyant sur les données disponibles (typiquement, soit un facteur d'émission

moyen est calculé, soit le plus ancien facteur d'émission connu est reporté sur les années antérieures, soit une évolution linéaire est calculée entre deux années connues éloignées dans le temps).

Ceci permet de s'assurer qu'il n'y a pas de rupture brusque dans les séries lorsque les données relatives à certaines années sont manquantes.

Concernant le secteur de la production de chaux, la cohérence temporelle est assurée. Cela est décrit en détails dans le chapitre 4.2.2.2.

## 4.2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Les émissions provenant des déclarations annuelles des exploitants sont vérifiées par les autorités locales (DREAL) puis validées par le Ministère chargé de l'Environnement. De plus, dans le cadre du SEQE, les émissions de $CO_2$ sont vérifiées par un organisme agréé avant d'être transmises aux autorités (la plupart des émissions de $CO_2$ du CRT 2A sont couvertes par le SEQE).

Pour le secteur de la production de ciment, des contrôles spécifiques sont effectués :

- Vérification, pour toutes les années où les données individuelles sont utilisées, que la somme des productions de clinker des sites est très proche de la production nationale provenant des statistiques nationales (ATILH),
- Comparaison d'une année sur l'autre que les facteurs d'émission déclarés par type de produit utilisé par les exploitants dans le cadre du système d'échanges de quotas d'émissions de gaz à effet de serre sont du même ordre de grandeur,
- Vérification, pour toutes les années où les données individuelles sont utilisées, que d'une année sur l'autre les émissions déclarées sont du même ordre de grandeur et si non en comprendre la raison,
- Comparaison du facteur d'émission recalculé par année avec le facteur par défaut proposé par le GIEC, à savoir 520 kg $CO_2$/t clinker. Les facteurs d'émission de $CO_2$ recalculés sont compris entre 525 et 530 kg $CO_2$/t clinker donc ces valeurs sont cohérentes avec la valeur par défaut du GIEC.

Pour le secteur de la production de chaux, des contrôles spécifiques sont effectués :

- Vérification, pour toutes les années où les données individuelles sont utilisées, que la somme des productions de chaux hydrauliques et aériennes des sites est inférieure à la production nationale provenant des statistiques nationales (Fédération de la chaux) ;
- Comparaison, d'une année sur l'autre, que les facteurs d'émission déclarés, par type de produit utilisé par les exploitants dans le cadre du système d'échanges de quotas d'émissions de gaz à effet de serre, sont du même ordre de grandeur ;
- Vérification pour toutes les années où les données individuelles sont utilisées que d'une année sur l'autre les émissions déclarées sont cohérentes et, si non, en comprendre la raison ;
- Comparaison du facteur d'émission recalculé par année avec le facteur par défaut proposé par le GIEC, à savoir 750 kg $CO_2$/t chaux. Les facteurs d'émission de $CO_2$ recalculés (hors auto-producteur de chaux en sucrerie) sont compris entre 740 et 830 kg $CO_2$/t chaux donc ces valeurs sont cohérentes avec la valeur par défaut du GIEC.

Pour le secteur de la production de verre, des contrôles spécifiques sont effectués :

- Comparaison d'une année sur l'autre que les facteurs d'émission déclarés part type de produit utilisé par les exploitants dans le cadre du système d'échanges de quotas d'émissions de gaz à effet de serre sont cohérents ;
- Vérification, pour toutes les années où les données individuelles sont utilisées, que d'une année sur l'autre les émissions déclarées sont cohérentes et si non en comprendre la raison ;
- Comparaison du facteur d'émission recalculé par année avec le facteur par défaut proposé par le GIEC, à savoir 200 kg $CO_2$/t verre neuf. Les facteurs d'émission de $CO_2$ recalculés sont compris entre 185 et 200 kg $CO_2$/t verre neuf donc ces valeurs sont cohérentes avec la valeur par défaut du GIEC.

## 4.2.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 2A**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 14 939 | 12 430 | 12 337 | 12 618 | 11 020 | 11 335 | 10 596 | 10 622 | 10 235 | 9 688 | 9 595 | 9 501 | 9 936 | 10 016 | 9 055 | 9 740 | 9 261 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 14 939 | 12 430 | 12 337 | 12 618 | 11 020 | 11 335 | 10 596 | 10 621 | 10 234 | 9 687 | 9 595 | 9 501 | 9 936 | 10 016 | 9 054 | 9 740 | 9 262 | 8 397 |
| Différence | kt CO2e | -0,14 | -0,14 | -0,14 | -0,14 | -0,23 | -0,17 | -0,34 | -0,30 | -0,24 | -0,24 | -0,35 | -0,31 | -0,25 | +0,60 | -0,86 | +0,21 | +1,5 | +8 397 |
| | % | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | +0% | -0,01% | +0% | +0% | - |

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

#### 4.2.5.1 Ciment décarbonatation (2A1)

**Description du recalcul**

Pas de recalcul.

**Raison et justification**

N/A.

#### 4.2.5.2 Chaux décarbonatation (2A2)

**Description du recalcul**

Pas de recalcul.

**Raison et justification**

N/A.

#### 4.2.5.3 Verre décarbonatation (2A3)

**Description du recalcul**

Pas de recalcul.

**Raison et justification**

N/A.

#### 4.2.5.4 Tuiles et briques, Céramique décarbonatation (2A4a)

**Description du recalcul**

Pas de recalcul.

**Raison et justification**

N/A.

#### 4.2.5.5 Autres utilisations de carbonates de sodium (2A4-b)

**Description du recalcul**

Pas de recalcul.

### 4.2.6 Améliorations envisagées

Poursuivre la prise en compte des nouveaux sites qui pourront être identifiés, à partir des déclarations annuelles, comme consommateurs de matières carbonées ou carbonatées.

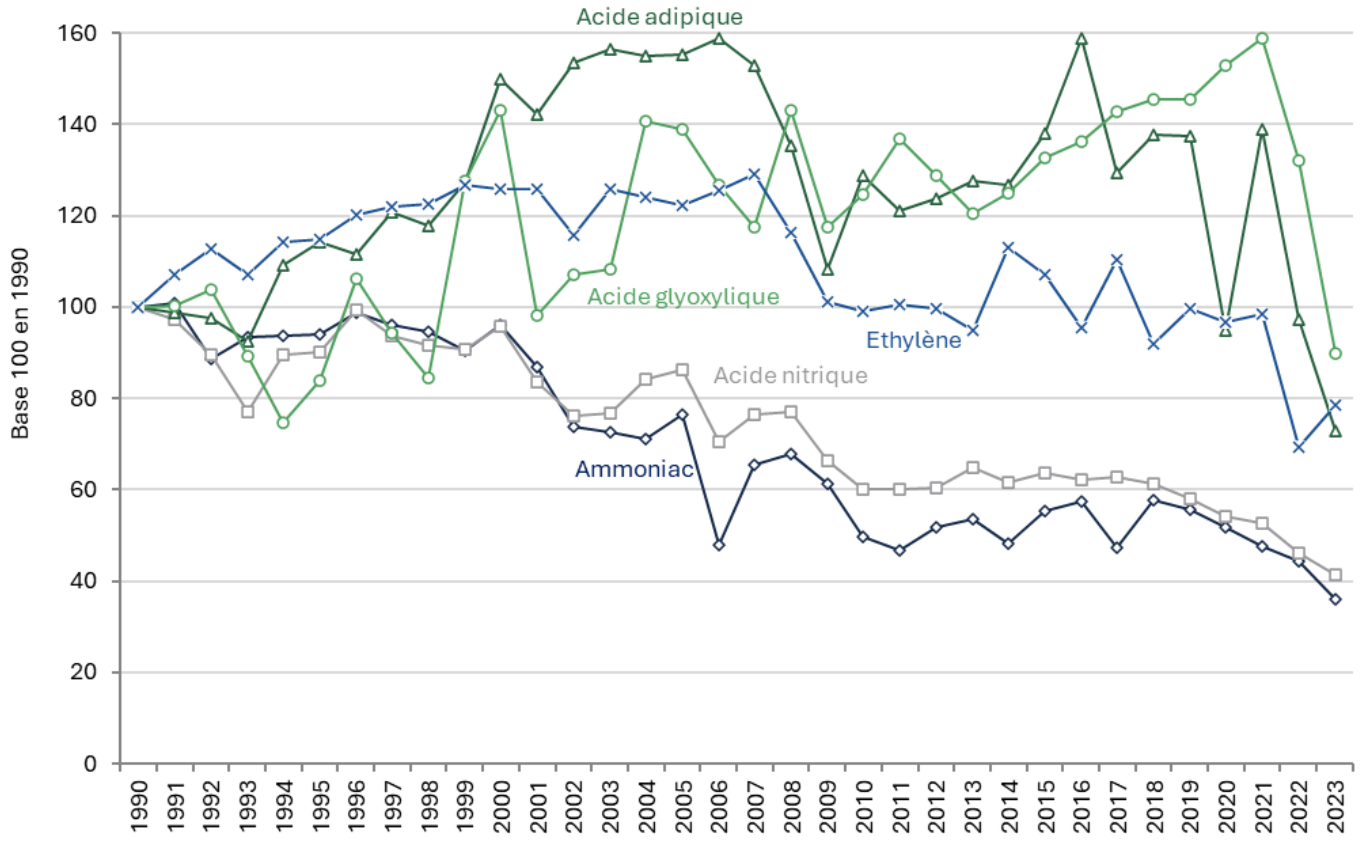
# 4.3 Chimie (CRT 2B)

## 4.3.1 Caractéristiques de la catégorie

La chimie est à l'origine d'émissions de $CO_2$ et $N_2O$ principalement. Chaque sous-secteur a ses propres spécificités.

Le graphique suivant présente les productions des principaux secteurs de la chimie en base 100 en 1990 afin d'intégrer l'évolution des productions confidentielles.

**Figure 93 : Principales productions de l'industrie chimique**




Source CITEPA/format CCNUCC - mars 2025

Graph_2B.xlsx/2B

Le tableau suivant présente les sous-secteurs du secteur 2B étant des catégories clés.

**Tableau 101 : Substances pour lesquelles le secteur 2B est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 2B1 | $CO_2$ | - | - | 38ème | 0,5% |
| 2B2 | $N_2O$ | - | - | 12ème | 1,8% |
| 2B3 | $N_2O$ | - | - | 5ème | 4,2% |
| 2B4 | $N_2O$ | - | - | 29ème | 0,8% |
| 2B8 | $CO_2$ | 25ème | 0,8% | - | - |
| 2B9 | HFC | - | - | 17ème | 1,4% |
| 2B9 | PFC | - | - | 49ème | 0,4% |
| 2B10 | $CO_2$ | 36ème | 0,4% | 45ème | 0,4% |

#### 4.3.1.1 Production d'ammoniac (2B1)

La synthèse de l'ammoniac est réalisée par reformage à la vapeur à partir du gaz de réseau (majoritairement du gaz naturel, utilisé en tant que matière première).

Le carbone libéré entraîne la production de $CO_2$, dont une partie est valorisée pour la synthèse d'urée ou la production de $CO_2$ liquéfié et l'autre partie est rejetée directement à l'atmosphère. L'hydrogène, produit par reformage du méthane, est mis en réaction avec l'azote pour produire l'ammoniac, ce qui conduit à des rejets de $NO_X$, COVNM, CO et de $NH_3$.

La production d'ammoniac a baissé de 64 % de 1990 à 2023. Cette baisse peut s'expliquer notamment par la fermeture successive de 3 sites de production (sur les 7 sites en activité en 1990) dans les années 2000 : 2 ont fermé en 2001 et 1 en 2009. Le niveau de production de l'année 2006 est particulièrement bas, en raison de problèmes d'approvisionnement en gaz naturel (matière première). De plus, en 2020, la production a baissé de 7 % comparativement à 2019, après être relativement stable depuis 2015, due notamment à la crise Covid-19. Cependant, depuis, aucun effet rebond n'a été observé, au contraire, la production a continué sa baisse avec une chute de -8,3 % en 2021, comparativement à 2020, et de -6,6 % en 2022, comparativement à 2021. Enfin, en 2023, la baisse de la production d'ammoniac s'est accélérée, avec une chute de -18.8% comparé à 2022, notamment due à la mise à l'arrêt d'un des quatre derniers fours d'ammoniac en 2023, sa fermeture restant à être confirmée.

Les émissions de $CO_2$ ont été réduites de 65.5 % de 1990 à 2023.

#### 4.3.1.2 Production d'acide nitrique (2B2)

L'acide nitrique ($HNO_3$) est produit par oxydation catalytique (toile de platine) de l'ammoniac ($NH_3$) en présence d'air. Deux types de procédés industriels sont utilisés : simple pression et double pression.

On distingue chimiquement trois étapes :

- Oxydation de l'ammoniac en oxyde nitreux (NO) : $4\ NH_3 + 5\ O_2 \rightarrow 4\ NO + 6\ H_2O$
- Oxydation de celui-ci en oxyde nitrique ($NO_2$) : $2\ NO + O_2 \rightarrow 2\ NO_2$
- Absorption de celui-ci dans l'eau ($HNO_3$) : $4\ NO_2 + 2\ H_2O + O_2 \rightarrow 4\ HNO_3$

La réaction complète est donc : $NH_3 + 2\ O_2 \rightarrow HNO_3 + H_2O$

De plus les réactions parasites occasionnent la formation de protoxyde d'azote ($N_2O$) :

- Sur toute la durée du cycle : $4\ NH_3 + 4\ O_2 \rightarrow 2\ N_2O + 3\ H_2O$
- En début/fin de cycle : $2\ NH_3 + 8\ NO \rightarrow 5\ N_2O + 3\ H_2O$ ; $4\ NH_3 + 4\ NO + 3\ O_2 \rightarrow 4\ N_2O + 6\ H_2O$

En conséquence, la production d'acide nitrique est une source de $N_2O$, de $NO_X$ et de $NH_3$.

La production d'acide nitrique a diminué de 58,5 % entre 1990 et 2023. Cette baisse peut s'expliquer notamment par la fermeture successive de 10 sites de production (sur les 19 sites en activité en 1990). Les années de fermeture des 10 sites sont les suivantes : 1991, 1992 (4 sites), 1993, 1995, 2002, 2003 et 2009. Un onzième site a arrêté sa production en 2018 pour totalement cesser son activité en 2019. Enfin, en 2020, la production a chuté de 7 % comparativement à 2019, notamment due à la crise sanitaire et à la fermeture d'un site en juin de cette année. En 2021, aucun effet rebond n'a été observé dans la production d'acide nitrique à la suite de la crise sanitaire, au contraire, la production a chuté de -2,5 % comparativement à 2020 avec l'arrêt de la production pour un site en avril 2021, l'arrêt technique d'un autre site et la forte baisse de la production d'un site. En 2023, la tendance à la baisse observée précédemment se poursuit, et s'accentue même, avec la production qui chute de 10 % comparativement à 2022 pour atteindre un niveau historiquement bas.

Les émissions de $N_2O$ ont été réduites de 96,5 % de 1990 à 2023. La baisse des émissions de $N_2O$, principalement sur la période 1990 – 2002, est liée à des fermetures d'ateliers non conformes et à l'amélioration des conditions de réactions notamment. Depuis 2002, l'introduction de catalyseurs réduit la formation de $N_2O$, jusqu'à 90 % selon les conditions, sur certains ateliers.

#### 4.3.1.3 Production d'acide adipique (2B3)

L'acide adipique se présente sous la forme d'une poudre blanche employée essentiellement pour la production de nylon. L'acide adipique est produit par oxydation d'un mélange de cyclohexanone / cyclohexanol sous l'action de l'acide nitrique. Cette oxydation engendre des émissions de $N_2O$ principalement et de $NO_x$ dans une moindre mesure. Il n'y a qu'un seul site de production d'acide adipique en France,

l'usine Rhodia à Chalampé. Les effluents gazeux émis par les ateliers de Chalampé contiennent entre 40 et 65 % de $N_2O$. Le gaz de procédé est épuré thermiquement.

L'atelier de destruction des $N_2O$, installé depuis 1998 sur le site, permet la synthèse d'acide nitrique par absorption des $NO_x$ formés. Cet atelier est équipé d'un traitement catalytique des $NO_x$ avant rejet à l'atmosphère. Les émissions liées à la synthèse de l'acide nitrique sont traitées dans la section 2.B.2.

Il est à noter que le site émet également du $CO_2$ qui provient de l'oxydation d'une partie des matières premières.

Depuis 1990, la production fluctue et en 2020 elle était à 95 % du niveau de 1990. Il n'existe, actuellement, plus qu'un seul site de production et de ce fait le niveau de production est confidentiel. En 2020, la production d'acide adipique a chuté fortement comparativement aux années précédentes à la suite de la crise sanitaire. En 2021, la production a connu un effet rebond à la suite de la crise sanitaire mais la production a connu une nouvelle baisse abrupte en 2022 qui se poursuit lors de l'année 2023 (-47 % comparé à 2021), et le niveau est redescendu en-dessous de celui de 1990.

#### 4.3.1.4 Production d'acide glyoxylique (2B4.c)

Jusqu'en 2001, 2 sites produisaient de l'acide glyoxylique et du glyoxal (base acétaldéhyde) en France. Depuis la fermeture en 2001 du site Clariant de Lillebonne, seul le site Weylchem (ex Clariant) de Cuise-Lamotte produit de l'acide glyoxylique et du glyoxal (base acétaldéhyde et depuis 2016 en base Mono Ethylène Glycol (MEG)), émetteur de $N_2O$, de COVNM et de $NO_x$.

Le glyoxal est principalement produit par oxydation de l'acétaldéhyde sous l'action de l'acide nitrique. Depuis 2016, un nouvel atelier de production de glyoxal à partir de Mono Ethylène Glycol permet d'éviter les émissions de $N_2O$. L'acide glyxoxylique est produit par oxydation du glyoxal par l'acide nitrique.

Le glyoxal et l'acide glyoxylique sont vendus en phase aqueuse, le premier est un produit employé par les industries textile, papetière et pharmaceutique notamment, le second est un intermédiaire de synthèse employé notamment par les industries pharmaceutiques ainsi que l'industrie des arômes et des parfums.

L'oxydation dans ces synthèses est à l'origine d'émissions de $N_2O$. Un système de traitement catalytique des émissions de $N_2O$ a été introduit à partir de 1998 sur les unités de glyoxal de Cuise-Lamotte et en 2002 sur les unités d'acide glyoxylique.

Les émissions de $N_2O$ ont été réduites de 98 % depuis 1990, constituant le niveau le plus bas observé sur la série temporelle, la production a fortement diminuée entre 2021 et 2023 (-43%).

#### 4.3.1.5 Production de carbure de calcium (2B5.b)

*Production*

Le carbure de calcium est obtenu dans un four électrique à très haute température (2200°C) par réduction de la chaux par du carbone (sous forme de coke) selon la réaction suivante :

$CaO + 3C \rightarrow CaC_2 + CO$

Les gaz produits étant réutilisés comme combustibles, le CO contenu dans les gaz est oxydé en $CO_2$. Il y avait jusqu'en 2002 une seule usine de production en France. Cette usine a fermé en 2002 et il n'y a donc plus d'émissions de $CO_2$ à partir de 2003 concernant la production de carbure de calcium.

*Utilisation*

Le carbure de calcium est utilisé pour la fabrication d'engrais (cyanamide), mais également en métallurgie ou en tant que précurseur d'acétylène.

La réaction se produisant lors de l'utilisation du carbure de calcium est la suivante :

$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2 \rightarrow 2CO_2$

L'utilisation de carbure de calcium est responsable d'émissions de $CO_2$.

#### 4.3.1.6 Production de carbonate de sodium (2B7)

Il existe deux procédés de fabrication du carbonate de sodium : l'un est naturel et l'autre, dit synthétique, est basé sur la réaction du chlorure de sodium avec l'hydrogénocarbonate d'ammonium. En France, seule la voie de fabrication dite synthétique est utilisée.

Les étapes du procédé de fabrication dit synthétique sont les suivantes :

- Production d'hydrogénocarbonate d'ammonium à partir de chaux : $CaCO_3$ à $CaO + CO_2$ ; $CaO + 2NH_4Cl$ à $2NH_3 + CaCl_2 + H_2O$ et $NH_3 + CO_2 + H_2O$ à$NH_4CO_3H$
- Production de bicarbonate de sodium par réaction du chlorure de sodium, avec l'hydrogénocarbonate d'ammonium : $NaCl + NH_4CO_3H$ à $NH_4Cl + NaCO_3H$
- Torréfaction du bicarbonate de sodium en carbonate de sodium :

  $2\ NaCO_3H$ à $Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$
- Transformation des sous-produits (chlorure d'ammonium et gaz carbonique) en hydrogénocarbonate d'ammonium.

Il n'existe en France que 2 sites de production de carbonate de sodium et bicarbonate de sodium en activité et, de ce fait, le niveau de production est confidentiel.

#### 4.3.1.7 Production de dérivés pétrochimiques et noir de carbone (2B8)

Cette catégorie regroupe la production de nombreux dérivés pétrochimiques en particulier les procédés ou les productions suivantes : :

- Le vapocraquage (2B8b) est un procédé pétrochimique qui consiste à obtenir, à partir d'une coupe pétrolière telle que le naphta ou des alcanes légers (CnH2n+2) les produits suivants :
  - des alcènes (aussi appelés oléfines) : CnH2n ; ex : éthylène (C2H4), propylène (C3H6), butène,
  - des hydrocarbures aromatiques (cycliques insaturés) : benzène, toluène, xylène.

  Les coupes pétrolières sont introduites en présence de vapeur d'eau (de l'ordre de 30 à 100 % en poids) dans le vapocraqueur. Ce mélange est porté brutalement à 800°C pendant une fraction de seconde puis est très rapidement refroidi. Dans ces conditions, les molécules se scindent en plusieurs morceaux et donnent naissance à divers produits. Il en résulte une production dont la composition est d'environ 36% éthylène, 13% propylène, 8% butylène et 7% aromatiques. Ces produits sont séparés par distillation.

  On compte six vapocraqueurs en France depuis la fermeture d'une unité en 2015. Certains vapocraqueurs nécessitent un apport d'énergie supplémentaires se traduisant par une consommation de gaz de réseau (301+31B) ou d'autres combustibles liquides (225), ces consommations et émissions associées sont considérées en 1A2c_other_furnaces.

  En plus des produits cités ci-dessus, des déchets gazeux à valeur énergétique intéressante sont réutilisés dans les fours de vapocraquage comme combustibles. Les émissions liées à la combustion de ces gaz sont prises en compte dans cette section conformément aux lignes directrices 2006 du GIEC [771].

  Les émissions de $N_2O$ ne pouvant être rapportées en 2B8, celles-ci sont rapportées en 2B10.

- La production de Noir de carbone (2B8f) par cracking catalytique par combustion ménagée d'hydrocarbures aromatiques :

$C_xH_y + O_2 + N_2$ --> $C + CO + H_2 + H_2O + N_2$.

Ce procédé s'effectue en six étapes :

- Pyrolyse de l'huile : L'huile (définie comme matière première primaire) est injectée dans le réacteur dans une zone à haute température de densité d'énergie élevée qui est obtenue en brûlant du gaz naturel (défini comme matière première secondaire) dans de l'air. Cet air est en excès par rapport à la quantité de gaz naturel mais en défaut pour la matière première primaire. Il en résulte une combustion incomplète de l'huile qui est par conséquent pyrolysée et forme le noir de carbone entre 1 200°C et 1 900°C. Le gaz naturel, quant à lui, est brûlé complètement. Il est à noter cependant que toute l'huile ne se transforme pas en noir de carbone : le rendement de la réaction est d'environ 50 %.
- Trempe : Le mélange réactionnel est ensuite trempé dans de l'eau. Des gaz résiduaires sont formés à partir du carbone de l'huile qui ne s'est pas transformé en noir de carbone et de la combustion complète du gaz naturel.
- Filtration : Le noir de carbone solide est séparé des gaz résiduaires.
- Broyage : Le noir de carbone obtenu par la réaction est broyé et mis sous forme de granulés.
- Séchage : Le noir de carbone est ensuite séché. Il est à noter que l'énergie nécessaire au séchage de ce produit provient de la combustion d'une partie des gaz résiduaires. C'est lors de cette étape qu'est émise une partie du $CO_2$ formé lors de la combustion du gaz naturel. Après séchage le noir de carbone est prêt à être commercialisé.
- Elimination des gaz résiduaires : Les gaz résiduaires qui ne servent pas à sécher le noir de carbone sont soit torchés soit valorisés énergétiquement au sein d'une chaudière. C'est lors de cette étape qu'est émis le $CO_2$ restant. Pour information le $CO_2$ issu de la valorisation des gaz résiduaires sous chaudière est comptabilisé dans le secteur de la combustion industrielle (CRT 1A2).

Les principaux produits du procédé en dehors des émissions de la combustion sont le CO et les COVNM. D'autres polluants sont émis en plus faible quantité : $CH_4$ et particules.

Depuis 2016, la production de noir de carbone n'est plus assurée en France que par un site (fermeture d'un site en septembre 2009 et d'un autre en 2016). C'est pourquoi, en raison du secret statistique, les activités et facteurs d'émission liés à cette production sont confidentiels.

- Les autres procédés de la chimie organique (2B8g) :
  - la production de polychlorure de vinyle ;
  - la production d'anhydride phtalique ;
  - la production de styrène ;

### 4.3.1.8 Productions d'halocarbures, $NF_3$ et $SF_6$ (2B9)

Cette catégorie correspond aux émissions liées à la production de HFC, PFC, $SF_6$ et $NF_3$ ainsi que de leurs sous-produits.

Il existe deux sites de production d'hydrocarbures halogénés en France. Un autre site produit également un acide fluoré qui engendre comme sous-produits des HFC et PFC.

Il n'y a pas de production de $SF_6$ en France mais un site est dédié à la régénération du $SF_6$ récupéré depuis 2008. Un site dans l'industrie nucléaire a émis du $SF_6$ par destruction de fluor jusqu'en 2006. Cette activité est classée, par simplification, comme sous-produit de la production d'halocarbures.

Les productions n'étant pas disponibles pour des raisons de confidentialité, les activités sont fictives.

**Sous-produits**

Production du HCFC-22

Il existe un site en France, producteur de HCFC-22, émetteur du sous-produit HFC-23. Les émissions ont été réduites de façon importante depuis 1994 après la mise en place d'une unité de traitement des produits fluorés par oxydation thermique. Les productions sont confidentielles.

Production d'acide trifluoroacétique

Ce produit est fabriqué sur un site. Le procédé engendre des sous-produits fluorés dont le HFC-125 et le $CF_4$. La production depuis 1990 a été augmentée entrainant une hausse des émissions jusqu'à la mise en place d'un nouveau réacteur en 2003 et d'un oxydateur thermique fin 2008. La mise en place de ce dernier explique les très faibles émissions à partir de 2009.

**Émissions fugitives**

Sur l'un des deux sites de production, les émissions ont été réduites de façon importante depuis 1992, pour le HFC-143a en particulier, suite au renouvellement de l'atelier de production et, depuis 1994-1995, pour l'ensemble des gaz après l'introduction d'un incinérateur et la suppression progressive des sources diffuses. Le second site de production était déjà équipé d'un tel dispositif depuis une date antérieure à 1990.

Depuis 2003, il n'y a plus d'émissions de PFC.

Chimie du nucléaire

Un site de traitement de l'uranium utilise, pour traiter les effluents gazeux de fluor, des « pots à soufre » permettant de les neutraliser en $SF_6$. Les émissions sont de l'ordre de 5 tonnes par an jusqu'en 2006. Les rejets de $SF_6$ du site ont fait l'objet d'un plan d'action en 2005-2006 destiné à réduire les émissions de GES. L'installation qui transformait le fluor en $SF_6$ a été remplacée par une installation qui ne met plus en œuvre de soufre. En effet, l'effluent gazeux à neutraliser (contenant des traces de fluor) a été orienté vers les installations du procédé, et non plus vers l'ancienne installation qui avait pour objectif de transformer le fluor en $SF_6$ avant rejet à l'atmosphère. Par conséquent il n'y a plus de rejet de $SF_6$ depuis 2007.

### 4.3.1.9 Autres (2B10)

Cette catégorie regroupe diverses productions de l'industrie chimique en particulier :

- Les émissions de $N_2O$ liées à la combustion de sous-produits issus des matières premières introduites dans les fours de vapocraquage (cf. 2B8)
- La production d'hydrogène : ce composé est produit par vaporeformage du gaz naturel. Ce dernier est donc utilisé en tant que matière première ;
- La production de tétrafluorure d'uranium ($UF_4$) : il s'agit de la première étape dans la préparation du combustible nucléaire (conversion de l'uranium brut en $UF_4$) avant sa transformation en hexafluorure d'uranium ($UF_6$) puis son enrichissement). Il n'existe qu'un seul site de production d'$UF_4$ en France ;
- La production de tétrachlorure de titane ($TiCl_4$) : Il n'existe qu'un seul site de production de $TiCl_4$ en France. Le procédé de production utilisé en France est le procédé par carbo-chloration ($2TiO_2 + 4\ Cl_2 + 3C \rightarrow 2TiCl_4 + 2\ CO + CO_2$). L'apport de carbone est réalisé au moyen de coke de pétrole ;
- La production de $N_2O$ médical et industriel : il n'existe qu'un seul site en France produisant du $N_2O$ médical et industriel. Au cours de la fabrication du $N_2O$, celui-ci est rejeté dans l'atmosphère à un certain nombre d'étapes du procédé (purges des cuves de stockage et du process, etc.) ;
- Les émissions liées à l'utilisation de torchères dans l'industrie chimique : la torchère est un équipement de destruction des gaz résiduaires, également utilisé comme organe de sécurité. Ces gaz peuvent être brûlés pour des raisons diverses, le plus souvent en raison de présence d'impuretés et parfois pour incapacité de traitement ou de stockage ;
- La production d'autres produits chimiques organiques n'entrant pas dans les catégories précitées parmi lesquels la production d'HCN. ] ;
- Les émissions de $CO_2$ induites par l'utilisation de matières carbonées au niveau des sites chimiques. Quinze sites industriels chimiques utilisent de la castine ou une matière carbonée (calcaire par exemple) pour le traitement des fumées engendrant des émissions de $CO_2$. L'activité retenue correspond à la consommation de matière carbonée des sites. Les consommations de matière carbonée sont connues via les déclarations annuelles de polluants [19] au mieux à partir de 2003 (selon les sites). Pour les années antérieures, les consommations de matière carbonée sont, soit déduites du facteur d'émission et des émissions de $CO_2$ connues liées à la décarbonatation [19], soit la valeur de la production de la dernière année disponible est reportée.

NB : d'autres catégories de productions chimiques sont prises en compte dans l'inventaire national mais ne sont pas décrites ici car il s'agit d'activités non émettrices de gaz à effet de serre.

## 4.3.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/methodologie-de-linventaire-ominea/

Pour le secteur de la chimie, les émissions sont généralement déterminées par une approche « bottom-up » à partir des données communiquées au travers des déclarations annuelles de rejets de polluants et complétées par les informations des industriels.

Des éléments spécifiques à certains secteurs sont présentés ci-après.

### 4.3.2.1 Production d'ammoniac (2B1)

La méthode appliquée pour le secteur de la production d'ammoniac est de rang 3 depuis 2004 (utilisation des productions et émissions déclarées par les exploitants). De 1990 à 2003, la méthode utilisée est de niveau 2 du fait de l'utilisation des données d'activité par site et du report du facteur d'émission spécifique par site de 2004.

La production d'ammoniac totale provient de statistiques nationales pour les périodes 1960–1978 [272] et 1986-2006 [53], [118]. En l'absence d'information, une interpolation linéaire est mise en œuvre pour la période 1979-1985. Des productions par site ont été obtenues par communications des exploitants pour les années 1990, 1995, 1999 et suivantes [50]. Depuis 2007 la production d'ammoniac est obtenue exclusivement à partir des déclarations annuelles de rejets [19].

Les consommations de gaz de réseau des vaporeformeurs et les émissions associées proviennent des déclarations à partir de 2004 [19]. Avant cette période, les consommations et émissions de la production d'ammoniac sont estimées à partir des données déclarées pour l'année 2004 et des productions fournies par site.

A noter que, depuis l'édition 2025, les consommations de gaz de réseau, provenant des déclarations des exploitants [19], sont séparées en flux de gaz naturel (NAPFUE 301) et biométhane (NAPFUE 31B), en appliquant le taux de biométhane moyen national sur toute la série historique (notamment, non nul à partir de 2012 – cf. section générale énergie).

***Emissions de $CO_2$***

Deux spécificités sont à considérer quant au calcul des émissions de $CO_2$ :

- D'une part, le gaz de réseau (mélange de gaz naturel et biométhane) est utilisé en tant que matière première mais également en tant que combustible, dans des fours et des chaudières. Ces diverses consommations sont à l'origine d'émissions de $CO_2$. Seules les émissions du $CO_2$ issues des consommations de gaz de réseau, énergétiques et non énergétiques, des fours, sont comptabilisées dans cette partie. Pour information, les exploitants déclarent soit séparément les émissions procédé et combustion, soit l'ensemble des émissions sans distinction [19], auquel cas des communications nous permettent de les déterminer [50].
- D'autre part, pour certains sites, une partie du $CO_2$ émis est réutilisée pour la synthèse de l'urée ou la production de $CO_2$ liquéfié. Le $CO_2$ mis en œuvre pour fabriquer le produit (urée ou $CO_2$ liquéfié) est par la suite réémis après un stockage intermédiaire temporaire (exemple : hydrolyse de l'urée par les microorganismes du sol suite à son épandage en tant que fertilisant).

  Conformément aux lignes directrices du GIEC 2006 :

- Les quantités de $CO_2$ réutilisées pour la production de $CO_2$ liquéfié sont comptabilisées dans le secteur de la production d'ammoniac, alors que ;
- Le $CO_2$ utilisé pour la production d'urée est comptabilisé dans les secteurs consommateurs d'urée (e.g. agriculture, etc.).

Depuis 2004, les émissions de $CO_2$ proviennent des déclarations annuelles de rejets [19] complétées par des échanges avec les exploitants [50]. Pour les années 1990 à 2003, les émissions de $CO_2$ sont recalculées par site, à partir du facteur émission spécifique à chaque installation de 2004 et de la production annuelle. La cohérence temporelle depuis 1990 est vérifiée par le fait que le facteur d'émission global est du même ordre de grandeur sur toute la série et par le fait que le périmètre des producteurs considérés est identique sur toute la série. Les quantités de $CO_2$ réutilisées pour la production de $CO_2$ liquéfié et d'urée sont également directement fournies par les exploitants [19, 50]. Avant 1990, les émissions sont déterminées à partir de la production nationale et du facteur d'émission national de 1990.

Il est à noter qu'un site de production, fermé en 2009, ne produisait pas l'hydrogène nécessaire au procédé mais l'achetait à un site voisin : ce site émettait donc peu de $CO_2$ au niveau de son procédé de production d'ammoniac comparé aux autres sites.

En 2013, la production d'ammoniac est entrée dans le champ d'application du système d'échange de quotas de gaz à effet de serre (émissions de $CO_2$ de procédé).

Le tableau ci-dessous compare les émissions de $CO_2$ au titre du SEQE-EU et les émissions de $CO_2$ de l'inventaire depuis 2013. A noter que les annexes MMR ne prennent pas en compte les évolutions de l'inventaire ; cela pouvant entrainer des différences entre le total « SEQE-UE 2B1 + urée » et le total « Inventaire 2B1 + urée ».

A partir de 2021, le PRG AR5 a été utilisé pour convertir les émissions de $N_2O$ en $CO_2$ équivalent, aux périmètres SEQE-UE et inventaire pour des besoins de vérification de cohérence.

| Production d'ammoniac et production d'acide nitrique | | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***SEQE-UE*** Total $CO_2$eq sites ammoniac et acide nitrique | Emissions totales de $CO_2$eq issues de la combustion, du procédé (y compris le $CO_2$ utilisé pour la production d'urée) déclarées au titre du SEQE-UE pour les sites de production d'ammoniac et d'acide nitrique (kt $CO_2$eq) | 2 725,2 | 2 689,9 | 2 857,9 | 2 921,3 | 2 488,2 | 2 976,6 | 2 723,6 | 2 497,8 | 2 195,2* | 2 015,0* | 1695,7* |
| ***SEQE-UE*** 2B1 + urée | Emissions de $CO_2$ issues du procédé ammoniac déclarées au titre du SEQE-UE (kt) | 1 973,6 | 1 815,6 | 2 026,3 | 2 066,5 | 1 848,3 | 2 068,3 | 2 019,6 | 1 902,5 | 1 755,0 | 1 582,4 | 1241,8 |
| ***SEQE-UE*** 2B2 | Emissions de $N_2O$ issues du procédé acide nitrique déclarées au titre du SEQE-UE (kt $CO_2$eq) | 443,7 | 571,0 | 522,8 | 543,8 | 432,9 | 559,9 | 532,3 | 432,6 | 252,3* | 225,4* | 195,7* |
| ***SEQE-UE*** 1A2c | Emissions de $CO_2$ issues de la combustion pour les sites de production d'ammoniac et d'acide nitrique déclarées au titre du SEQE-UE (kt) | 307,9 | 303,3 | 308,8 | 311,1 | 207,0 | 348,3 | 171,7 | 162,7 | 187,9 | 207,3 | 258,2 |
| ***Inventaire*** 2B1 | Emissions de $CO_2$ issues du procédé | 1 763,4 | 1 673,6 | 1 815,1 | 1 858,9 | 1 776,3 | 1 876,4 | 1 876,1 | 1 759,6 | 1 530,5 | 1 362,6 | 1053,0 |

| Production d'ammoniac et production d'acide nitrique | | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ammoniac estimées dans l'inventaire (kt) | | | | | | | | | | | |
| ***Inventaire*** $CO_2$ utilisé pour la production d'urée | $CO_2$ utilisé pour la production d'urée dans l'inventaire ; $CO_2$ inclus dans les secteurs utilisateurs de l'urée dans l'inventaire (agriculture par exemple) (kt) | 210,2 | 142,0 | 211,2 | 207,7 | 72,1 | 191,9 | 143,5 | 142,9 | 224,5 | 219,8 | 188,8 |
| ***Inventaire*** 2B2 | Emissions de $N_2O$ issues du procédé acide nitrique déclarées dans l'inventaire (kt $CO_2eq$) | 443,7 | 571,0 | 522,8 | 543,8 | 432,9 | 559,9 | 532,3 | 432,6 | 252,3* | 225,4* | 195,7* |
| ***Inventaire*** 1A2 | Emissions de $CO_2$ issues de la combustion pour les sites de production d'ammoniac et d'acide nitrique déclarées dans l'inventaire (kt) | 307,9 | 303,3 | 308,8 | 311,1 | 207,0 | 348,3 | 171,7 | 162,7 | 187,9 | 207,3 | 258,2 |

* changement du PRG $N_2O$ de AR4 (298) auparavant, à celui de l'AR5 (265) désormais, à partir de l'année 2021

#### 4.3.2.2 Production d'acide nitrique (2B2)

De 1990 à 2001, la production d'acide nitrique est obtenue à l'aide de statistiques nationales [143] et par communication d'un groupe [733] puis des données déclarées par les exploitants [19] depuis 2002. Les productions avant 1990 proviennent d'un annuaire statistique [272].

***Emissions de $N_2O$***

La fédération sectorielle a communiqué au Citepa les émissions par site pour 1990 et de 1999 à 2001 et une valeur d'émission pour l'ensemble des sites pour les années 1991 à 1998 [143]. Ces données ont été comparées par le Citepa aux données disponibles dans les déclarations des rejets des industriels pour validation [19]. A ces valeurs sont ajoutées les émissions des installations d'un groupe [733] non inclus dans les statistiques de la fédération. La totalité des émissions liées à la production nationale est donc prise en compte sur la période 1990-2001, à partir de données collectées en bottom-up ou issues d'une approche bottom-up.

A partir de 2002, les émissions de chaque site du périmètre considéré sont disponibles dans les déclarations des rejets industriels [19]. L'ensemble de ces émissions est déterminé par les exploitants par mesure.

Il est à noter que depuis 2013, la production d'acide nitrique est entrée dans le système d'échange de quotas de gaz à effet de serre. Par ailleurs, en 2002, les industriels ont adopté un référentiel de Bonnes Pratiques approuvé par l'AFNOR [146] pour estimer les émissions de $N_2O$ des ateliers de fabrication d'acide nitrique.

#### 4.3.2.3 Production d'acide adipique (2B3)

La méthode appliquée pour le secteur de la production d'acide adipique est de rang GIEC 3.

Les émissions, facteurs d'émission et la production (confidentielle) étaient communiquées directement par le site [147] jusqu'en 2009. A partir de 2010, les données de production (confidentielles) et d'émission sont désormais récupérées dans les déclarations annuelles de rejets [19].

***Emissions de $CO_2$***

La production d'acide adipique est émettrice de $CO_2$ qui provient de la production du mélange cyclohexanone / cyclohexanol et de l'oxydation d'une partie des matières premières oxydées. Ces émissions de $CO_2$ sont déterminées à partir des déclarations annuelles des émissions [19]. Le facteur d'émission établi sur la base des années récentes est reporté jusqu'en 1960 compte tenu des caractéristiques de l'installation qui n'ont pas évolué.

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ proviennent de communications directes avec le site [147] ou sont extraites des déclarations annuelles des émissions [19].

En marche normale, les émissions de $N_2O$ sont mesurées en continu au moyen d'un chromatographe. En marche dégradée, les gaz provenant du procédé sont émis directement à l'atmosphère. Les émissions de $N_2O$ sont alors déterminées par bilan matière. Les émissions calculées correspondent à plus de 98% de l'ensemble des émissions.

Les émissions de $N_2O$ ont été réduites de plus de 99% depuis 1990 grâce au système de traitement installé en 1998. Le $N_2O$ est brûlé avec du méthane dans des conditions particulières pour transformer le $N_2O$ en NO, $NO_2$ et $N_2$. Le $N_2O$ et le $N_2$ sont ensuite adsorbés dans l'eau pour créer de l'acide nitrique. Une forte réduction a été observée entre 2003 et 2004 suite au renouvellement d'un élément du système de traitement qui s'avérait perturber la performance de l'ensemble. La diminution du facteur d'émission depuis 2011 résulte de la réalisation d'un projet visant à réduire les émissions de $N_2O$ par augmentation et fiabilisation de la collecte de $N_2O$ en direction de l'unité de traitement $N_2O$ (Projet Chal'ange, réalisé en plusieurs tranches à partir de 2008). Les fluctuations des émissions de $N_2O$ sont fonction du nombre et de la durée des phases d'arrêt du système de traitement pour maintenance ou incident. En 2017, une augmentation des émissions de $N_2O$ par un facteur 10 a été observée à cause d'une défaillance importante de l'unité de traitement du $N_2O$. Le problème a été réglé en 2018, où les émissions ont retrouvé un niveau similaire à 2016. En 2019 le système de traitement a été particulièrement efficace, ce qui, en combinaison avec une baisse de l'activité, a permis une baisse significative des émissions de $N_2O$.

#### 4.3.2.4 Production d'acide glyoxylique (2B4.c)

La méthode appliquée pour le secteur de la production d'acide glyoxylique est de rang GIEC 2 jusqu'en 2002 puis de rang 3 depuis 2003.

Les productions (confidentielles) et les émissions sont déterminées à partir des déclarations annuelles des rejets [19] et de données du site [150] validées dans le cadre d'un engagement de progrès.

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ sont extraites des déclarations annuelles des émissions [19]. Depuis l'installation du traitement catalytique, en dehors des phases transitoires (démarrages, arrêts, incidents) rares et de durées limitées, les émissions de $N_2O$ sont réduites en $N_2$ et $O_2$. En marche normale de l'installation, les émissions de $N_2O$ sont déterminées par mesures en continu des débits d'air et des concentrations en sortie de l'unité de traitement. En marche dégradée, les émissions de $N_2O$ sont déterminées à partir de bilans massiques pour le glyoxal et à partir de mesures pour l'acide glyoxylique (les gaz détournés sont analysés en même temps que les gaz normalement traités dans la cheminée).Les données de production et facteurs d'émission sont confidentiels.

### 4.3.2.5 Production de carbure de calcium (2B5.b)

La méthode appliquée pour le secteur de la production de carbure de calcium est de rang GIEC 1.

*Production*

La production de carbure de calcium était assurée en France par un seul site ayant cessé son activité en 2003.

Les données de production proviennent de statistiques nationales pour les années 2001 et 2002 et sont interpolées pour les années antérieures.

*Utilisation*

Le carbure de calcium est consommé dans de nombreux secteurs dont certains sont comptabilisés spécifiquement dans l'inventaire. Les émissions sont prises en compte dans les secteurs consommateurs mettant en œuvre de la décarbonatation.

Afin d'assurer la complétude de l'inventaire, la quantité prise en compte pour l'utilisation de carbure de calcium est calculée sur la base de la quantité produite à laquelle les imports sont ajoutés et les exports soustraits, correspondant ainsi à la consommation nationale.

Pour éviter les doubles comptes dans le calcul des émissions, les quantités de carbure de calcium utilisées dans les autres secteurs mettant en œuvre de la décarbonatation sont retirées de la consommation nationale.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ liées à la production et à l'utilisation de carbure de calcium sont déterminées au moyen de facteurs d'émission issus des lignes directrices du GIEC [255].

### 4.3.2.6 Production de carbonate de sodium (2B7)

La méthode appliquée pour le secteur de la production de carbonate de sodium est de rang GIEC 2 (par assimilation) du fait de la prise en compte, pour partie, de données spécifiques aux installations jusqu'en 2000 puis de rang 3.

Il n'existe que deux sites de production de carbonate de sodium et bicarbonate de sodium en France. C'est pourquoi, en raison du secret statistique, les activités et facteurs d'émission liés à cette production sont confidentiels.

Les données de production de carbonate de sodium et bicarbonate de sodium proviennent de publications de la profession [243] pour les années antérieures à 1999+ puis des déclarations des industriels à partir de cette date [19]. Pour les années manquantes, les niveaux de production sont interpolés.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ liées à la production de carbonate de sodium et bicarbonate de sodium sont déterminées à partir des déclarations des sites de production à partir de 2001 [19]. Pour les années antérieures, les émissions de $CO_2$ sont estimées à l'aide de la moyenne des facteurs d'émission calculés pour les années 2001 à 2003.

### 4.3.2.7 Production de dérivés pétrochimiques et noir de carbone (2B8)

- Production d'éthylène – propylène (vapocraquage)

  La méthode appliquée est de rang 2 et plus (par extrapolation) du fait de la prise en compte de données spécifiques aux **i**nstallations**.**

  *Combustion dans les fours de vapocraquage* : Les données disponibles détaillées (types, quantités et caractéristiques des combustibles, types d'équipements, mesures des émissions, bilans, etc.) [19] permettent une estimation fine des émissions de la combustion quelques substances, notamment celles concourant à l'acidification et au changement climatique. Les

combustibles gazeux considérés correspondent aux déchets industriels gazeux, gaz de pétrochimie et autres combustibles gazeux (respectivement NAPFUE 307, 308 et 314).

Les émissions des substances liées à la combustion sont estimées.

*Procédés* : Le niveau de production national de l'éthylène et du propylène est issu des communications des exploitants auprès du Citepa entre 1990 et 2005 [50] et des déclarations annuelles [19] après 2005.

***Emissions de $CO_2$***

*Combustion fours* : Les émissions de $CO_2$ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19], notamment afin d'assurer la cohérence des données retenues pour l'inventaire avec celles déclarées au titre du SEQE, basées sur des mesures spécifiques. Lorsque l'exploitant ne déclare pas de facteurs spécifiques, une moyenne du facteur d'émission par combustible et par site ou les valeurs nationales (par combustible) (cf. section générale énergie) sont appliquées.

*Procédés* : Un site de production déclare des émissions très faibles de $CO_2$ liées au procédé depuis 2008 [19]. Pour les années antérieures, le FE $CO_2$ recalculé pour l'année 2008 est appliqué.

***Emissions de $CH_4$***

*Combustion fours* : Sur l'ensemble de la période, les émissions de $CH_4$ sont déterminées au moyen des facteurs d'émission par défaut relatifs à chaque combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

*Procédés* : Les émissions de $CH_4$ sont déterminées à l'aide d'un facteur d'émission, recalculé à partir du facteur d'émission de COVNM national et du ratio des facteurs d'émission de $CH_4$ et COVNM issus des lignes directrices du GIEC 2006 [705].

- Production de noir de carbone

La méthode appliquée pour le secteur de la production de noir de carbone est de rang GIEC 2 jusqu'en 2000 du fait de la prise en compte, pour partie, de données spécifiques aux installations puis de rang GIEC 3 pour les émissions de $CO_2$ depuis 2001.

Les données de production de noir de carbone sont estimées à partir de statistiques nationales [53] jusqu'en 2002 puis à partir des déclarations des sites de production [19].

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées à partir des déclarations des sites de production à partir de 2001 [19]. Pour les années antérieures, les mêmes facteurs d'émission sont conservés.

Il est à noter que la production de noir de carbone est entrée, en 2013, dans le champ d'application du système d'échange de quotas de gaz à effet de serre (émissions de $CO_2$ de procédé).

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions de $CH_4$ sont déterminées à partir du facteur d'émission indiqué dans le Guidebook IPCC [1053] et de la production nationale.

- Production de polychlorure de vinyle (PVC)

La méthode appliquée pour le secteur de la production de PVC est de rang GIEC 2.

Les activités proviennent pour certaines années des statistiques fournies par l'UIC [118] et pour d'autres, des statistiques du SESSI et du SPMP [53, 115] ainsi que des déclarations annuelles des rejets [19].

***Emissions de $CO_2$***

Certains sites de production de PVC déclarent des émissions de $CO_2$ procédés liées à l'utilisation de peroxydes organiques.

Pour les années 2004 et suivantes, les facteurs d'émission sont calculés à partir des déclarations annuelles des émissions [19].

Le facteur d'émission national estimé pour 2004 est utilisé pour les années antérieures.

- Production de styrène

  La méthode appliquée pour le secteur de la production de styrène est de rang GIEC 2.

  En 1990, il y avait trois sites de production en France. Depuis 2010, il n'en reste plus qu'un. Les activités proviennent du SESSI [53] jusqu'en 1990 et directement des déclarations annuelles de rejets des industriels [19] pour les années suivantes. Les activités des années pour lesquelles les données ne sont pas disponibles sont estimées par interpolation des années connues.

  ***Emissions de $CH_4$***

  Des émissions de $CH_4$ sont considérées pour la production de styrène. Un facteur d'émission moyen est déterminé à l'échelle nationale à partir des lignes directrices du GIEC 2006 [379], des niveaux d'activité définis dans les statistiques du SESSI [53] et les déclarations annuelles de rejets des industriels [19]. Les productions et facteurs d'émission sont confidentiels.

- Production d'anhydride phtalique

  La méthode appliquée pour le secteur de la production d'anhydride phtalique est de rang GIEC 3.

  Le seul site producteur d'anhydride phtalique en France a cessé son activité en 2014. Les productions (données confidentielles) et les émissions proviennent des déclarations annuelles [19].

  ***Emissions de $CO_2$***

  Les facteurs d'émissions sont calculés à partir des émissions de $CO_2$ disponibles dans les déclarations annuelles de rejets des industriels [19] à partir de 2004. Le facteur d'émission national estimé pour 2004 est utilisé pour déterminer les émissions des années antérieures.

  Les productions et facteurs d'émission sont confidentiels.

### 4.3.2.8 Productions d'halocarbures, $NF_3$ et $SF_6$ (2B9)

La méthode appliquée est de rang GIEC 3.

Les HFC et PFC produits sont émis en partie de manière fugitive ou canalisée.

L'autre partie provient de l'émission des réactions de sous-produits générés par l'activité initiale :

- La production d'HCFC-22 est à l'origine d'émissions de HFC-23,
- La production de R-142b émet du HFC-365mfc,
- La fabrication d'acide fluoré engendre des sous-produits (notamment HFC-125 et $CF_4$).

La transformation du fluor engendre des émissions de $SF_6$.

Les émissions sont communiquées directement par les sites de production [50] et les déclarations annuelles de rejets [19].

Pour le site de régénération de $SF_6$, les émissions sont générées lors du conditionnement et des fuites raccords/brides mais surtout lors du processus de régénération. A partir de 2020, les émissions sont directement issues de la déclaration GEREP du site [19] qui intègre toutes les sources d'émissions de $SF_6$. Pour les années antérieures, le site ne comptabilisait pas les émissions engendrées par la machine de régénération. Ainsi, pour la période 2014 – 2019, les émissions de $SF_6$ ont été estimées à partir des données de l'observatoire des fluides frigorigènes de l'ADEME qui recense les quantités totales de $SF_6$ régénérées en France et du taux d'émission moyen du site calculé pour les années 2020 - 2021. Pour les années antérieures à 2014 et pour lesquelles les données de l'ADEME sont indisponibles, les quantités de $SF_6$ régénérées ont été calculées sur la base de la variation 2014/2015 puis interpolées jusqu'en 2008. Afin de conserver la confidentialité statistique (un seul site réalisant cette activité), les données d'activité et le facteur d'émission utilisés ne sont pas renseignés.

### 4.3.2.9 Autres (2B10)

- Production d'éthylène - propylène

  La méthode appliquée est de rang 2 et plus (par extrapolation) du fait de la prise en compte de données spécifiques aux installations.

  ***Emissions de $N_2O$***

Combustion fours : Sur l'ensemble de la période, les émissions de $N_2O$ sont déterminées au moyen des facteurs d'émission par défaut relatifs à chaque combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

Procédés **:** Aucune émission de $N_2O$ n'est attendue.

- Production de $H_2$

La méthode appliquée pour le secteur de la production d'hydrogène est de rang GIEC 2 (par assimilation) jusqu'en 2006 puis rang 3 à partir de 2007.

Jusqu'en 2006, le niveau de production d'hydrogène était disponible dans les statistiques nationales [53]. A partir de 2007, les données de production utilisées proviennent des déclarations des sites de production [19].

Par ailleurs, les consommations de gaz naturel (à usage non énergétique) sont, à partir de 2007, calculées à l'aide des émissions déclarées par les exploitants et d'un facteur d'émission national. Pour les années antérieures, les consommations de gaz naturel sont calculées à partir du niveau de production et d'un facteur d'émission national.

***Emissions de $CO_2$***

Jusqu'en 2006, les émissions de $CO_2$ sont estimées à partir des consommations non énergétiques de gaz naturel en considérant que l'ensemble du carbone entrant dans le procédé sous forme de gaz naturel est émis sous forme de $CO_2$ et en utilisant un facteur d'émission national (cf. section générale énergie).

A partir de 2007, les émissions de $CO_2$ proviennent des déclarations des sites de production [19].

La cohérence temporelle est vérifiée en comparant les FE $CO_2$ recalculés depuis 2007 à partir des données des exploitants avec les FE $CO_2$ nationaux pour le gaz naturel.

- Production de $TiCl_4$

La méthode appliquée pour le secteur de la production d'hydrogène est de rang GIEC 2 (par assimilation) jusqu'en 2005 puis rang 3.

Les données de production utilisées proviennent, selon les années, de communications [50] ou des déclarations des sites de production [19]. Pour les années sans information, des reports ou des interpolations sont effectués. Il est à noter que, selon les règles du secret statistique, le niveau de production de ces activités est confidentiel.

***Emissions de $CO_2$***

A partir de 2006, les émissions de $CO_2$ proviennent des déclarations des sites de production [19]. Pour les années antérieures, les émissions de $CO_2$ sont estimées à l'aide du facteur d'émission déduit pour l'année 2006.

- Production d'$UF_4$

La méthode appliquée pour le secteur de la production d'$UF_4$ est de rang GIEC 3.

Depuis 1990, les données de production utilisées proviennent, selon les années, de communications [50] ou des déclarations du site de production [19]. Pour les années antérieures, un report du niveau de production de 1990 est effectué. Il est à noter que, selon les règles du secret statistique, le niveau de production de cette activité est confidentiel.

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ proviennent selon les années de communications [50] ou des déclarations des sites de production [19].

- Production de $N_2O$

La méthode appliquée pour le secteur de la production de $N_2O$ est de rang GIEC 3.

Les données de production utilisées proviennent, selon les années, de communications [50] ou des déclarations des sites de production [19]. Pour les années sans information, des reports ou des interpolations sont effectués. Il est à noter que, selon les règles du secret statistique, le niveau de production de ces activités est confidentiel.

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ proviennent, selon les années, de communications [50] ou des déclarations des sites de production [19].

➢ Torches dans l'industrie chimique

La méthode appliquée pour le secteur des torchères dans l'industrie chimique est de rang GIEC 2 jusqu'en 2012 et de rang GIEC 3 depuis 2013.

Les activités et les émissions des torches (depuis 2012) sont issues des déclarations annuelles des exploitants [19]. La plupart des torchères prises en compte individuellement sont celles présentes sur des installations chimiques soumises au système d'échange de quotas d'émissions (SEQE).

La quantité de gaz torchés avant 2012 est recalculée à partir des données de production de chaque site : les émissions et activités sont déterminées pour les années les plus récentes, puis rétropolées jusqu'en 1990 (1960 pour le $CO_2$) en indexant l'activité des torches avec les productions connues.

***Emissions de $CO_2$***

A partir de 2012, les facteurs d'émission de $CO_2$ sont déterminés à partir des quantités de gaz torchés et des données d'émissions [19].

Pour les années antérieures à 2012, les émissions sont déterminées site par site via la moyenne des facteurs d'émission des années 2012 et 2013.

***Emissions de $CH_4$ et $N_2O$***

A partir de 2012, les facteurs d'émission de $CH_4$ et de $N_2O$ sont déterminés à partir des quantités de gaz torchés et des données d'émissions [19]. Si un site ne présente aucune donnée pour une année, un facteur d'émission est déterminé à partir des années connues [19]. Si aucune valeur n'est disponible pour la période, les valeurs moyennes des facteurs d'émission des sites ayant une activité similaire sont utilisées. A défaut, les facteurs d'émission par défaut des lignes directrices du GIEC 2006 [397] sont appliqués.

Pour les années antérieures à 2012, les émissions sont déterminées site par site via la moyenne des facteurs d'émission des années 2012 et 2013.

➢ Utilisation de carbonates dans l'industrie chimique

La méthode appliquée pour l'utilisation de carbonates dans l'industrie chimique est de rang GIEC 3.

***Emissions de $CO_2$***

Quinze sites industriels chimiques utilisent de la castine ou une matière carbonée (calcaire par exemple) pour le traitement des fumées engendrant des émissions de $CO_2$.

Les émissions nationales sont déterminées à partir des éléments suivants :

Si les données d'émission sont disponibles pour un site de production via les déclarations annuelles [19], alors ses données d'émission sont utilisées.

Dans le cas contraire, la dernière année d'émission disponible d'un site est reportée jusqu'à la date de mise en service du site.

➢ Production d'autres produits organiques n'entrant pas dans une catégorie citée

La méthode appliquée pour le secteur de la production d'autres produits organiques n'entrant pas dans une catégorie citée est de rang GIEC 2.

Plus d'une cinquantaine de sites, dont certains sont de petits émetteurs, n'entrent pas dans les activités précitées et sont répertoriés dans cette catégorie. Les activités étant très diverses (i.e. élastomère, etc.), les émissions sont rapportées sur une production fictive.

Les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission provenant de sources diverses parfois confidentielles, des statistiques fournies par l'UIC [118] et des déclarations annuelles de rejets [19].

A partir de 2004, les déclarations sont de plus en plus exhaustives. Cependant, la complexité réside dans la détermination des diverses productions ce qui induit une incertitude supérieure au résultat par activité comparée à l'incertitude globale attachée au secteur.

Les sites de production d'éthanol et d'acide cyanhydrique sont distingués dans cette catégorie.

La production nationale d'éthanol est estimée différemment selon les périodes :

- De 1995 à aujourd'hui, les données sont issues de l'Enquête Annuelle de Production d'Eurostat « PRODCOM », dernière édition disponible [1074].
- Entre 1988 et 1994, la production est calculée à partir de la moyenne des productions des années 1995 à 1997.

La production d'acide cyanhydrique (HCN) est aussi estimée différemment selon les périodes :

- De 1990 à 2003, les productions (données confidentielles) ont été obtenues auprès des exploitants des installations concernées [50] ;
- De 2004 à aujourd'hui, les productions (données confidentielles) ont été obtenues via les déclarations annuelles de rejets [19].

***Emissions de $CO_2$***

Pour le reste de la chimie organique, certains sites émettent du $CO_2$, en fonction de leurs procédés et caractéristiques.

Pour les années 2013 et suivantes, les facteurs d'émission sont calculés à partir des déclarations annuelles des émissions [19].

Pour les années 2004 à 2012, si les émissions ne sont pas fournies, les facteurs d'émission sont calculés à partir des déclarations de rejets et/ou des émissions recalculées par site à partir des derniers facteurs d'émission disponibles.

Entre 1998 et 2004, les émissions de $CO_2$ sont calculées en considérant le même taux d'évolution que pour les COV. En effet, l'UIC fournit une estimation des émissions annuelles de COV pour la chimie entre 1998 et 2004 [331].

Avant 1998, c'est la valeur des émissions de cette année qui est reportée.

***Emissions de $N_2O$***

Les données d'émission de $N_2O$ proviennent directement des déclarations annuelles des industriels [19] à partir de 2004.

Entre 1998 et 2004, les émissions de $N_2O$ sont également calculées en considérant le même taux d'évolution que pour les COV (enquête de l'UIC, [331])

Avant 1998, c'est la valeur des émissions de cette année qui est reportée.

### 4.3.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 2B).

L'incertitude moyenne sur le secteur 2B est de :

- 3 % pour l'activité et 6 % pour le facteur d'émission, pour le $CO_2$,
- 3 % pour l'activité et 100 % pour le facteur d'émission, pour le $CH_4$,
- 7,5 % pour les émissions de $N_2O$ (mesure directe),
- 2 % pour l'activité et 10 % pour le facteur d'émission pour les HFC et PFC,
- 30 % pour l'activité et 30 % pour le facteur d'émission pour le $SF_6$.

Pour les émissions de $N_2O$, l'incertitude provient de mesures directes et des quotas du secteur [Règlement 601-2012 - annexe 8 - tableaux 1 et 2]. Pour les autres valeurs, les incertitudes sont basées sur l'avis des experts sectoriels.

La cohérence temporelle des séries est respectée, les données provenant des déclarations des exploitants utilisées pour les années récentes étant également prises en compte pour rétropoler les séries pour les années plus lointaines lorsque cela s'avère nécessaire.

Des contacts avec certains industriels permettent aussi d'obtenir des données pour les années antérieures aux déclarations. Dans tous les cas, les années manquantes sont complétées en s'appuyant sur les données disponibles (typiquement soit un facteur d'émission moyen est calculé, soit le plus ancien facteur d'émission connu est reporté sur les années antérieures, soit une évolution linéaire est calculée entre deux années connues éloignées dans le temps).

Ceci permet de s'assurer qu'il n'y a pas de rupture brusque dans les séries lorsque les données relatives à certaines années ne sont pas disponibles.

## 4.3.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Les émissions obtenues dans les déclarations annuelles des exploitants sont vérifiées par les autorités locales (DREAL) puis validées par le Ministère de la Transition Ecologique (MTE).

Des éléments spécifiques à certains secteurs sont présentés ci-dessous.

Les secteurs de la production d'acide adipique, d'acide nitrique, de noir de carbone et d'hydrogène étant entrés en 2013 dans le système d'échange de quotas de gaz à effet de serre, les données déclarées par les sites de production de ces secteurs sont également contrôlées par un organisme vérificateur agréé.

**Acide adipique :** les émissions de $N_2O$ communiquées par le site sont estimées conformément au référentiel de Bonnes Pratiques approuvé par l'AFNOR NP X 30-330.

**Acide glyoxylique :** les émissions de $N_2O$ déclarées par les 2 sites sont estimées conformément au référentiel de Bonnes Pratiques approuvé par l'AFNOR NP X 30-332.

**Acide nitrique :** en 2002, les industriels ont adopté un référentiel de bonnes pratiques approuvé par l'AFNOR pour estimer les émissions de $N_2O$ des ateliers de fabrication d'acide nitrique. Il a été vérifié que les données d'activité sont bien déclarées en 100 % $HNO_3$.

**Production de gaz fluorés :**

- les facteurs d'émission des différents producteurs français ont été comparés entre eux et une cohérence entre chaque site a été mise en évidence. De plus, le facteur d'émission de HFC-23 du producteur français de HCFC-22 a été comparé avec ceux proposés dans les lignes directrices du GIEC 2006 et se situe effectivement dans la gamme proposée pour la catégorie *Usine avec capture et destruction de HFC-23* ;

- la France a participé en 2013/2014 à des échanges de revue bilatérale avec l'Allemagne sur l'inventaire des émissions de gaz fluorés. Lors de ces échanges, de multiples questions ont été posées concernant les grands principes de l'inventaire (complétude, cohérence, transparence). Ainsi, les principes d'assurance qualité ont été contrôlés à travers cette revue croisée ;

- le Citepa contrôle chaque année s'il y a de nouveaux sites producteurs de gaz fluorés en France à partir du registre déclaratif français [19] pour assurer l'exhaustivité des émissions des industriels.

## 4.3.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 2B**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 35 501 | 33 140 | 21 450 | 16 206 | 9 560 | 8 679 | 8 178 | 8 232 | 8 843 | 8 939 | 8 632 | 9 467 | 8 489 | 8 339 | 7 705 | 7 597 | 6 355 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 35 597 | 32 976 | 21 302 | 16 199 | 9 555 | 8 675 | 8 174 | 8 229 | 8 840 | 8 936 | 8 629 | 9 458 | 8 478 | 8 327 | 7 687 | 7 563 | 6 316 | 6 267 |
| Différence | kt CO2e | +96 | -164 | -148 | -7,4 | -4,9 | -4,0 | -4,0 | -2,7 | -3,0 | -3,1 | -3,7 | -8,4 | -11 | -12 | -18 | -34 | -39 | +6 267 |
| | % | +0% | -0% | -1% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0,23% | -0% | -1% | - |

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

### 4.3.5.1 Production d'ammoniac (2B1)

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 3 056 | 2 853 | 2 918 | 2 241 | 1 557 | 1 596 | 1 631 | 1 763 | 1 674 | 1 815 | 1 859 | 1 776 | 1 876 | 1 876 | 1 760 | 1 531 | 1 363 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 3 056 | 2 853 | 2 918 | 2 241 | 1 557 | 1 596 | 1 631 | 1 763 | 1 674 | 1 815 | 1 858 | 1 775 | 1 874 | 1 872 | 1 751 | 1 517 | 1 340 | 1 053 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,019 | -0,049 | -0,13 | -0,33 | -0,81 | -1,4 | -2,8 | -3,7 | -8,6 | -14 | -22 | +1 053 |
| | % | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | -0,00% | -0,00% | -0,01% | -0,02% | -0,04% | -0,08% | -0,15% | -0,19% | -0,49% | -0,91% | -1,62% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.1

**Description du recalcul**

Pour cette nouvelle édition, il n'y a pas eu de changement majeur sur les données de production et d'émissions considérées depuis les déclarations des exploitants. Cependant, le taux de biométhane moyen national présent sur le réseau (cf. section

générale énergie), non nul depuis 2012 et croissant, a été considéré dans les consommations de gaz de réseau : séparation des consommations entre gaz naturel et biométhane. Cela implique des légères baisses des émissions de $CO_2$, proportionnelles au taux de biométhane.

**Raison et justification**

Amélioration de la précision des estimations.

### 4.3.5.2 Production d'acide nitrique (2B2)

**Description du recalcul**

Pas de recalcul.

### 4.3.5.3 Production d'acide adipique (2B3)

**Description du recalcul**

Pas de recalcul.

### 4.3.5.4 Production d'acide glyoxylique (2B4.c)

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 2 288 | 2 696 | 1 911 | 297 | 209 | 283 | 219 | 132 | 125 | 242 | 111 | 217 | 237 | 150 | 92 | 73 | 84 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 2 384 | 2 530 | 1 793 | 297 | 209 | 283 | 219 | 132 | 125 | 242 | 111 | 217 | 237 | 150 | 92 | 73 | 84 | 35 |
| Différence | kt CO2e | +96 | -166 | -118 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +35 |
| | % | +4% | -6% | -6% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.4

Les hypothèses utilisées pour calculer les émissions de $N_2O$ entre 1990 et 2000 relatives ont été modifiées afin d'en améliorer l'exactitude.

### 4.3.5.5 Production de carbure de calcium (2B5.b)

**Description du recalcul**

Pas de recalcul.

### 4.3.5.6 Production de carbonate de sodium (2B7)

**Description du recalcul**

Pas de recalcul.

### 4.3.5.7 Production de dérivés pétrochimiques et noir de carbone (2B8)

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 4 082 | 4 373 | 5 028 | 4 920 | 3 860 | 3 834 | 3 711 | 3 575 | 4 066 | 3 925 | 3 619 | 3 933 | 3 407 | 3 578 | 3 454 | 3 656 | 2 660 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 4 072 | 4 362 | 5 016 | 4 907 | 3 850 | 3 825 | 3 702 | 3 566 | 4 055 | 3 914 | 3 610 | 3 918 | 3 392 | 3 562 | 3 440 | 3 640 | 2 648 | 2 893 |
| Différence | kt CO2e | -9,8 | -12 | -12 | -13 | -11 | -9,0 | -9,3 | -8,7 | -11 | -11 | -9,8 | -15 | -15 | -16 | -14 | -15 | -12 | +2 893 |
| | % | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0,40% | -0% | -0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.8

**Description du recalcul**

Les émissions de $CO_2$ précédemment estimées et rapportées en 2B8 pour la production de monochlorure de vinyle résultaient de la combustion dans un oxydateur des gaz résiduaires. Ces émissions sont désormais comptabilisées en 2D3 Autres utilisations non énergétique afin d'éviter un double compte. L'impact sur les émissions sont minimes.

**Raison et justification**

Amélioration de l'exhaustivité et de la précision des données utilisées.

### 4.3.5.8 Productions d'halocarbures, $NF_3$ et $SF_6$ (2B9)

**Description du recalcul**

Pas de recalcul.

**Raison et justification**

Pas de recalcul.

### 4.3.5.9 Autres (2B10)

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 1 748 | 2 052 | 2 120 | 2 290 | 1 917 | 1 720 | 1 548 | 1 680 | 1 711 | 1 753 | 1 729 | 1 669 | 1 800 | 1 665 | 1 475 | 1 568 | 1 576 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 1 759 | 2 065 | 2 102 | 2 296 | 1 922 | 1 725 | 1 553 | 1 686 | 1 719 | 1 761 | 1 736 | 1 677 | 1 806 | 1 672 | 1 479 | 1 563 | 1 571 | 1 720 |
| Différence | kt CO2e | +10 | +13 | -18 | +5,9 | +5,6 | +4,9 | +5,3 | +6,0 | +8,0 | +7,9 | +6,9 | +7,9 | +6,4 | +7,3 | +4,4 | -4,8 | -4,8 | +1 720 |
| | % | +1% | +1% | -1% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | -0% | -0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.10

**Description du recalcul**

a) Plusieurs données et hypothèses relatives aux à la production de produits chimiques organiques ont été revues avec un impact minime sur les émissions.

b) Décarbonatation dans la chimie : correction de la consommation de bicarbonate de sodium et des émissions de $CO_2$ en 2022 pour un site, sur la base de données fournies directement par l'exploitant. Impact mineur sur les émissions.

**Raison et justification**

a) Amélioration de l'exhaustivité et de la précision des données utilisées.

b) Amélioration de l'exhaustivité et de la précision des données utilisées.

## 4.3.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration sectorielle n'est prévue.

# 4.4 Métallurgie (CRT 2C)

En 2023, pour la France au périmètre UE, pour les émissions de gaz à effet de serre hors UTCATF, les secteurs de la métallurgie (2C) qui sont sources clé en niveau d'émissions et en évolution sont :

**Tableau 102 : Substances pour lesquelles les secteurs du 2C sont sources clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 2C1 Iron and Steel Production | $CO_2$ | 10ème | 2,2 % | 18ème | 1,3 % |
| 2C3 Aluminium Production | PFC | - | - | 20ème | 1,1 % |

## 4.4.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette catégorie regroupe la production de fonte et d'acier, de ferroalliages, d'aluminium primaire, de zinc et les fonderies de magnésium. Les principales émissions engendrées sont le $CO_2$, les PFC et le $SF_6$.

### 4.4.1.1 Procédés de la sidérurgie et de la transformation de l'acier (2C1)

Les activités traitées dans cette section concernent une partie des ateliers sidérurgiques, dans la limite de la partie non énergétique.

Les activités couvertes par cette section sont :

- les chaînes d'agglomération,
- les hauts-fourneaux (chargement et coulée),
- les convertisseurs à oxygène,
- les aciéries électriques,
- les laminoirs.

Pour information, la production de ferroalliages est traitée dans la section « 2C2 - ferroalloys ».

Le procédé de production sidérurgique est rappelé ci-dessous.

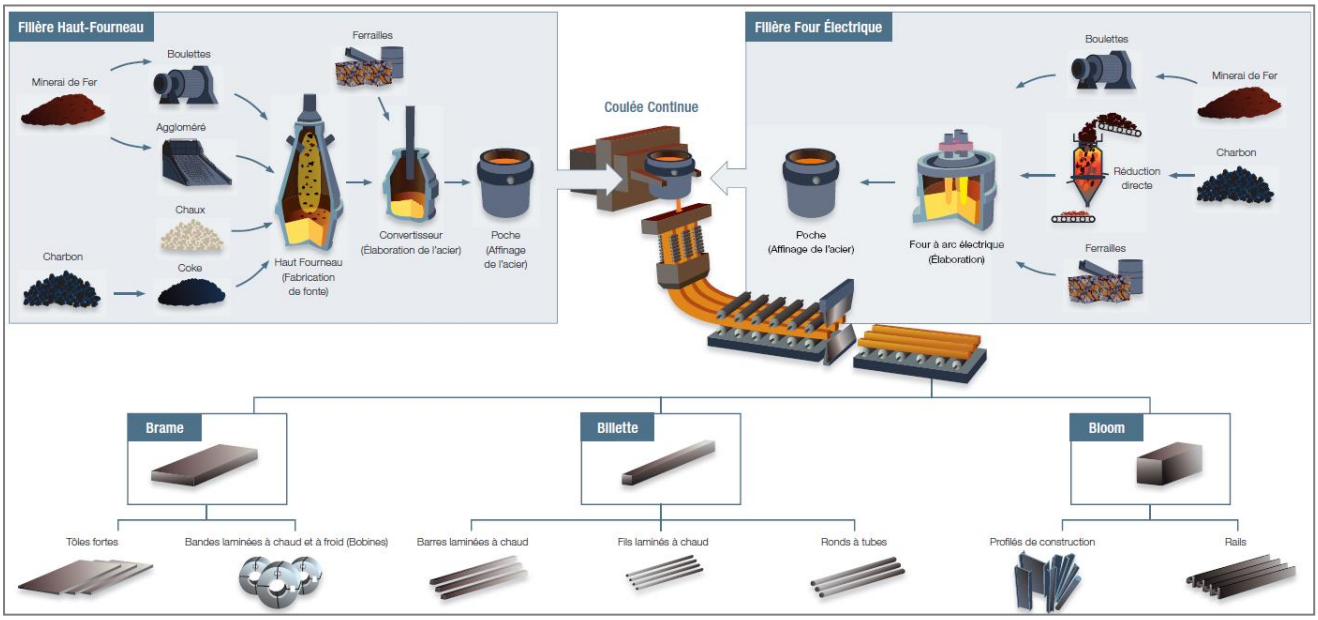



**Figure 94 : Représentation schématique des processus de production d'acier, selon les filières haut-fourneau et four électrique**

Source : acier.org

- Agglomération de minerai

La **chaîne d'agglomération** est un atelier dans lequel le minerai de fer est broyé et calibré en grains qui s'agglomèrent entre eux. L'ajout de liants (chaux, castine) et de poussier de coke conduit à la production d'agglomérés. L'aggloméré obtenu est concassé puis chargé dans le haut fourneau avec du coke. Le coke est un combustible résidu solide issu de la distillation de la houille.

- Hauts-fourneaux

Les **hauts-fourneaux** produisent de la fonte à partir du fer extrait du minerai (l'aggloméré) et du coke. Ces deux produits sont introduits par le haut du haut-fourneau. L'air chaud (1 200°C) insufflé à la base du haut-fourneau provoque la combustion du coke. L'oxyde de carbone formé réduit les oxydes de fer pour isoler le fer. La chaleur dégagée par la combustion fait fondre le fer. Le mélange obtenu est la fonte. Les résidus formés (laitier) sont exploités par d'autres industries : construction de routes, cimenterie, etc. L'opération qui se déroule dans les hauts-fourneaux est consommatrice d'énergie fossile. Le processus de fabrication comprend, d'une part, la combustion d'énergie fossile (essentiellement du gaz de haut fourneau) aux régénérateurs ou cowpers également appelés « réchauffeurs », qui s'apparente à une combustion sans contact et, d'autre part, des procédés non énergétiques tels que le chargement et la coulée au niveau du haut-fourneau. La présente section traite de la partie non énergétique du procédé, tandis que la partie relative à la combustion est traitée dans la section « 1A2a - iron steel ».

- Convertisseurs à oxygène et aciéries électriques

Différents procédés sont utilisés pour la fabrication de l'acier : les **fours à oxygène, présents dans des sites sidérurgiques intégrés,** dans lesquels de l'oxygène est injecté et les **fours électriques, au sein des aciéries électriques**. Les émissions relatives à ces procédés sont traitées dans la présente section.

- Autres ateliers

Les **fours de réchauffage** et les laminoirs permettent de mettre en forme le métal (bandes, lingots, billettes, fils, poutres, etc.). Ces opérations sont consommatrices d'énergie et sources d'émissions diffuses, notamment de COVNM et de poussières. Les émissions diffuses, dites de procédés, liées à ces activités sont traitées dans la présente section. En revanche, les méthodes d'estimation émissions liées à la consommation énergétique de combustibles, sont présentées dans la section 1A2a_sidérurgie.

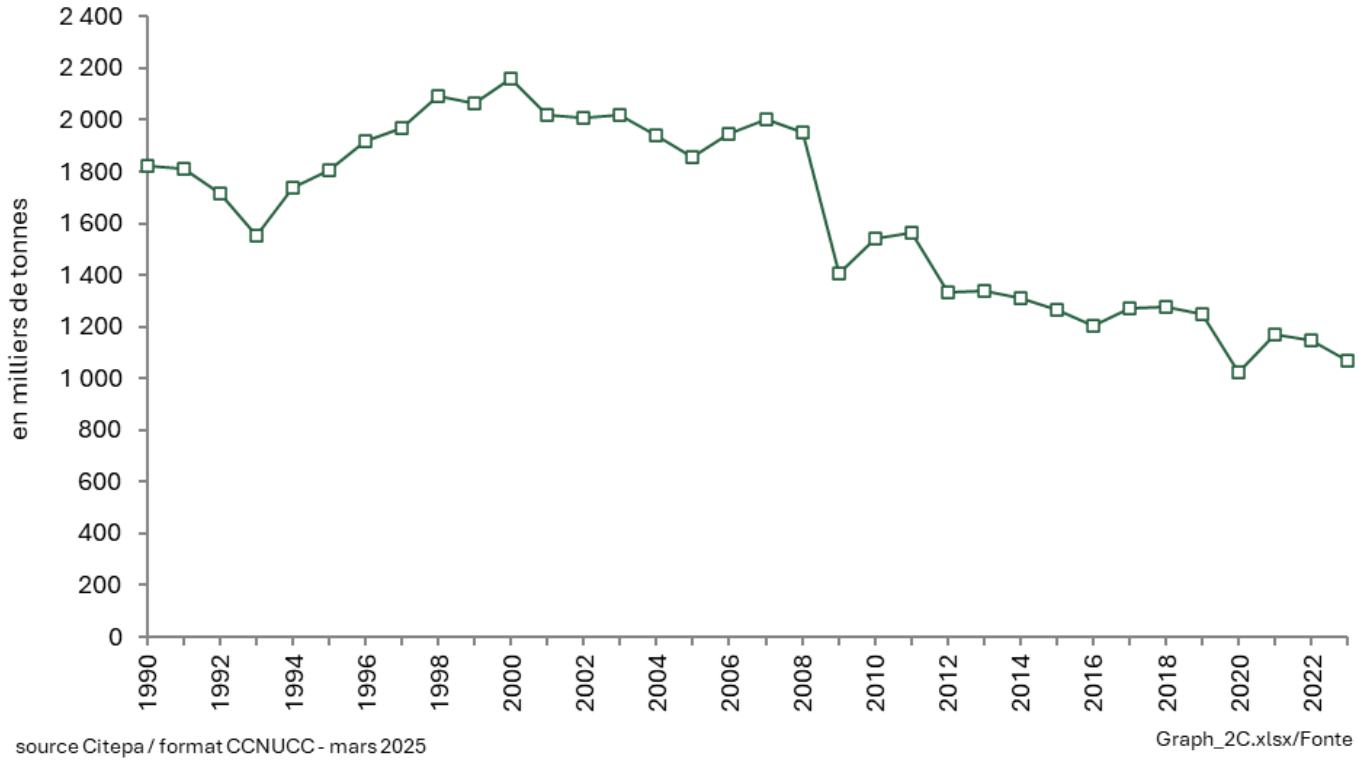
Actuellement, deux sites intégrés de production d'acier sont en activité (présence du four à coke, du haut-fourneau, du convertisseur à oxygène, et de laminoirs), un site ayant fermé ses hauts-fourneaux et le four à oxygène en octobre 2011. Certains sites disposent d'une ou plusieurs activités spécifiques (hauts-fourneaux par exemple) sans posséder toute la chaîne de production d'acier.

Trois chaînes d'agglomération existent en France actuellement. Trois hauts-fourneaux dont deux au sein des sites intégrés sont encore en fonctionnement. Ces deux sites comptent les deux convertisseurs à oxygène encore présents sur le territoire français. Une vingtaine d'aciéries électriques existe en France.

Il convient de noter qu'une activité de traitement de résidus contenus dans les poussières de filtres et autres résidus métalliques, dans les catalyseurs usés, dans les piles, et de valorisation sous forme de ferroalliages est également traitée dans cette section (2.C.1.f – Autres). Cette activité n'est pas traitée dans la partie Production de ferroalliages (2.C.2), car ce n'est pas de la production de ferroalliages mais du traitement de déchets. Il n'y a à ce jour qu'un site recensé en France.

La production de fonte brute était relativement stable entre 1990 et 2008, puis a connu une chute en 2009 due à la crise économique. A partir de 2010, une légère reprise progressive était constatée, jusqu'à la crise sanitaire de 2020 qui a fait nettement chuter la production de fonte brute. En 2021, un effet rebond a été observé sur la production de fonte brute, cependant bien inférieur au niveau d'avant-crise. Mais, une tendance de nouveau à la baisse est observée en 2022, et en 2023 (-8,7% comparé à 2021 – voir graphique suivant).

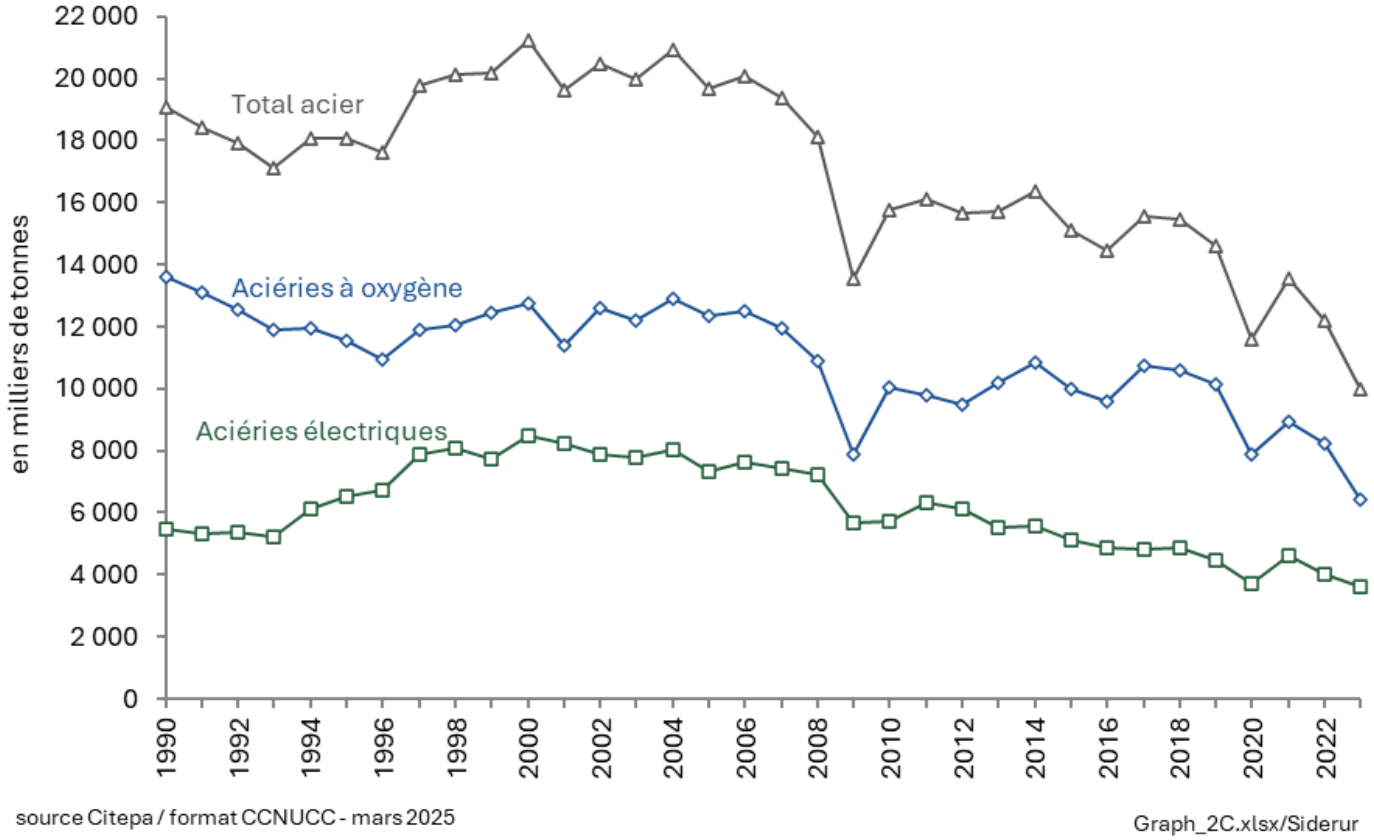
**Figure 95 : Production de fonte brute en France (périmètre UE)**




La production d'acier selon la filière électrique (cf. figure ci-dessous) a augmenté de 55 % entre 1990 et 2000, année de la plus forte production enregistrée avec 8,5 Mt. Depuis 2004, la production a décliné progressivement, avec une forte baisse entre 2008 et 2009 (-21 %), à la suite de la crise économique. Après un léger rebond entre 2010 et 2011, la production est repartie à la baisse depuis et l'année 2020 a marqué une diminution de la production encore plus prononcée (-41 % entre 2011 et 2020). Le niveau de production atteint en 2023 pour la filière électrique est le plus faible observé sur toute la série temporelle (-34% comparé à 1990).

En ce qui concerne la filière à oxygène, elle représente 64 % de la production totale nationale d'acier en 2023. Cette répartition est relativement stable depuis 1990. Tout comme la production de fonte brute, la production d'acier O2 a connu une forte chute en 2020 suite notamment à la crise sanitaire (-22 % entre 2019 et 2020), puis une augmentation en 2021 (+14 % comparé à 2020). En 2022, les productions d'acier O2 (-8 % comparé à 2021) et d'acier total (-10 % comparé à 2021) sont reparties à la baisse, après l'effet rebond observé en 2021. Cette baisse se poursuit entre 2023 et 2022 avec un rythme plus important : -22 % de la production d'acier O2 comparée à 2022 et -18 % de celle d'acier total comparée à 2022. Le niveau de production d'acier à oxygène de 2023 est le plus faible observé sur toute la série temporelle, amenant la production d'acier totale à un niveau historiquement bas, -47.5% en dessous de celui de 1990.

**Figure 96 : Production d'acier en France – périmètre UE**




### 4.4.1.2 Production de ferroalliages (2C2)

Ce secteur n'est pas une catégorie clé en 2023, ni en niveau, ni en évolution.

- Ferroalliages (hors ferrosilicium)

Les ferroalliages sont constitués de fer allié à d'autres métaux tels que le manganèse, le chrome ou le nickel. Les matières entrantes subissent un procédé de réduction, grâce à l'apport d'agents réducteurs tels que le coke ou le charbon. Deux types de technologies sont utilisées en France :

- les fours électriques, présents depuis 1978.
- les hauts-fourneaux, présents jusqu'en 2003.

Il subsiste deux sites en activité en métropole (procédé électrique) et trois en Nouvelle-Calédonie (procédé électrique et procédé hydrométallurgique). Les sites présents en Nouvelle-Calédonie (périmètre CCNUCC) utilisent du charbon et de l'anthracite et non du coke pour le procédé de réduction.

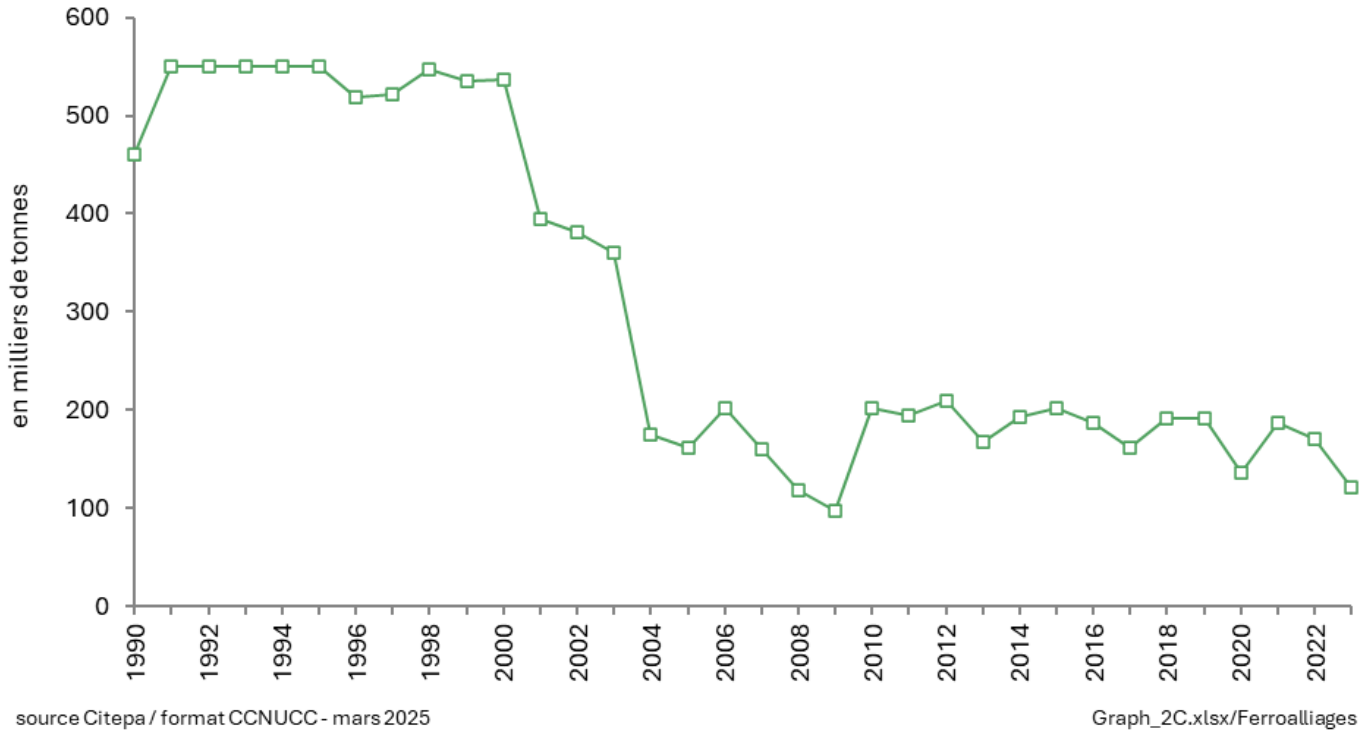
Ferrosilicium

Certains procédés de la production de silicium, ferrosilicium et silico-alliages, sont à l'origine d'émissions de $CO_2$ du fait de l'utilisation d'agents réducteurs. La production est réalisée par électrométallurgie dans des fours à arc électrique. La réaction globale est une réaction de carboréduction ($SiO_2 + C \rightarrow Si + CO_2$), avec des réactions intermédiaires conduisant à la formation de SiC, de SiO. En pratique, le silicium est introduit sous forme de morceaux de silice mélangé à des réducteurs tels que le bois, le charbon de bois, la houille, le coke de pétrole.

Cette section concerne uniquement les émissions de procédé de $CO_2$ et $CH_4$ de la production de silicium, ferrosilicium et silico-alliages du fait de l'utilisation d'agents réducteurs. Les émissions de $CO_2$ biomasse ne sont pas rapportées pour cette section car hors périmètre mais les consommations d'agents réducteurs biomasse sont déduites du solde du bilan de l'énergie (cf. section 1A2b).

Les parties relatives à la combustion des installations de production de silicium, ferrosilicium et silico-alliages, sont traitées dans la section 1A2b relative à la combustion d'énergie de l'industrie manufacturière.

**Figure 97 : Production de ferroalliages en France (périmètre UE)**




### 4.4.1.3 Production d'aluminium (2C3)

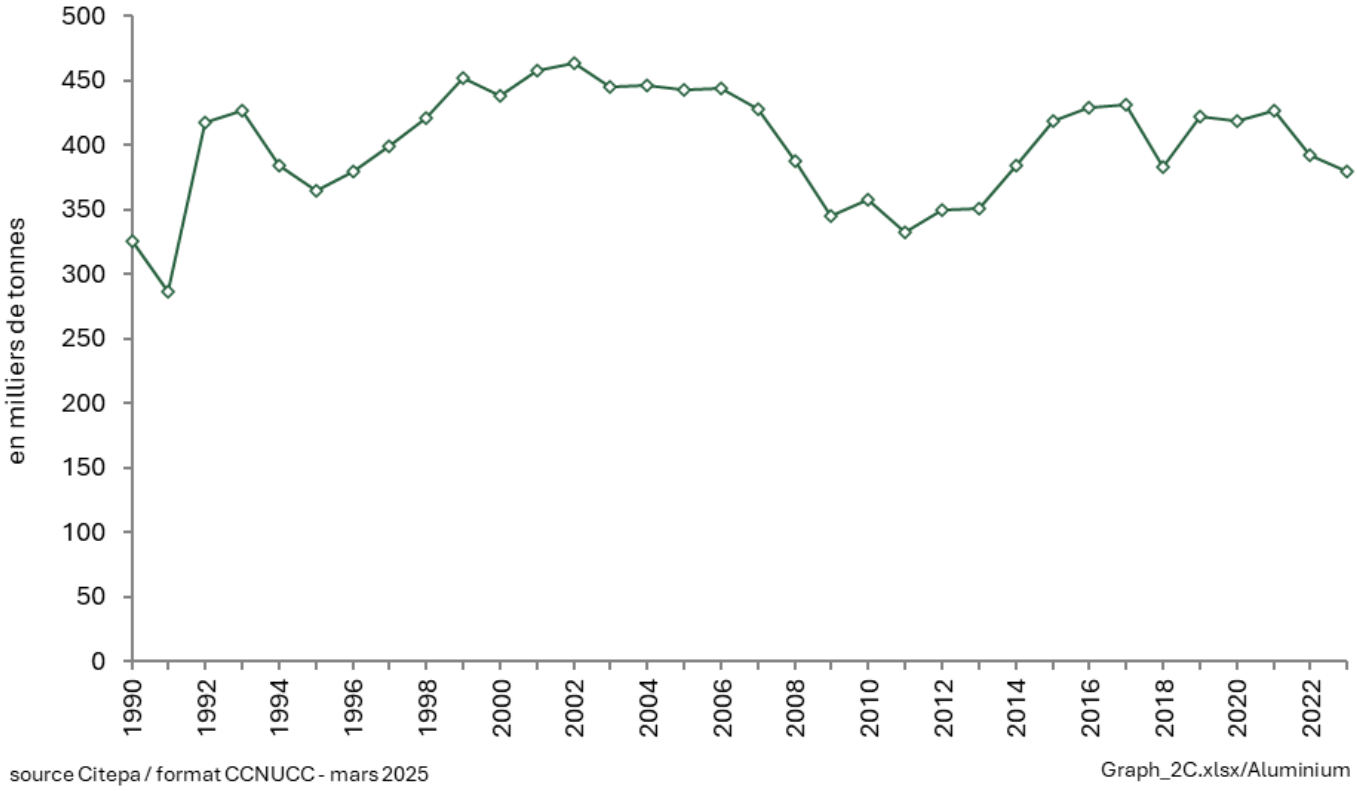
L'aluminium primaire est obtenu par électrolyse de l'alumine dans un bain de cryolithe (contient du fluor) qui constitue la cathode, et des anodes en carbone. En fonction du type d'anode utilisé, il existe deux technologies de production de l'aluminium primaire : la méthode SØderberg et la méthode des anodes précuites. Le procédé SØderberg produit les anodes en continu, au sein même des cuves d'électrolyse. Ce procédé n'est plus utilisé en France, au profit du procédé des anodes précuites. Celles-ci sont fabriquées à l'extérieur de l'unité d'électrolyse. Pour la méthode de production avec les anodes précuites, deux types de technologies existent :

- la plus ancienne, dénommée SWPB (side-worked, ou piquage latéral) correspondant à une alimentation mécanisée sur les côtés de la cuve d'électrolyse,
- la plus récente, dénommée CWPB (centre-worked, ou piquage central) correspondant à une alimentation ponctuelle automatique au centre de la cuve.

La technologie CWPB est moins émettrice de PFC car elle limite les effets d'anode à l'origine des émissions, et permet la mise en place de système de captage et de traitement des rejets. L'effet d'anode se produit lorsque l'alumine vient à manquer dans le bain de cryolithe. En 1990, 39 % de la production était réalisée par des sites CWPB (2 sites), contre 100 % depuis 2008.

Depuis 2008, il ne reste plus que deux sites de production en France, contre 8 en 1991. Les faibles productions d'un centre de recherche à proximité d'un site sont déclarées séparément depuis 2014. La figure suivante présente l'évolution de la production.

**Figure 98 : Production d'aluminium par électrolyse en France (périmètre UE)**




### 4.4.1.4 Production de magnésium (2C4)

La production de magnésium n'est pas une catégorie clé en 2023, ni en niveau, ni en évolution.

Les émissions de $CO_2$ et de $SF_6$ engendrées lors de la décarbonatation de dolomie pour produire le magnésium sont comptabilisées dans le CRT 2C7. Les émissions de HFC de cette activité sont incluses dans le CRT 2F5b.

Les autres émissions en rapport avec l'utilisation de l'énergie sont traitées dans la section combustion de combustibles de l'industrie manufacturière dans le CRT 1A2b.

### 4.4.1.5 Production de zinc (2C6)

La production de zinc n'est pas une catégorie clé en 2023, ni en niveau, ni en évolution.

Au cours de la production de zinc, première et seconde fusion, certains procédés sont émetteurs de $CO_2$ du fait de l'utilisation de carbonates et d'agents réducteurs, notamment pour la neutralisation d'acides divers. Des minerais concentrés de sulfure de zinc et des concentrés issus de l'industrie métallurgique riches en zinc sont également utilisés. Ils peuvent contenir des traces de carbone sous la forme graphite ou carbonate. Lors du grillage du minerai, la part carbone du minerai émet du $CO_2$, soit par combustion du graphite, soit par décomposition du carbonate.

Les parties relatives à la combustion des installations de production de zinc, première et seconde fusion, sont traitées dans la section 1A2b relative à la combustion dans l'industrie.

### 4.4.1.6 Autres (2C7)

Cette catégorie concerne les autres secteurs de la métallurgie émetteurs de gaz à effet de serre au cours du procédé, en particulier la production de magnésium et la production de silicium.

➢ Production de magnésium

Cette section s'intéresse aux seules émissions de $SF_6$ ainsi qu'aux émissions de $CO_2$ engendrées lors de la décarbonatation de dolomie pour produire le magnésium. Les émissions de HFC de cette activité sont incluses dans le CRT 2F5b. Les autres émissions en rapport avec l'utilisation de l'énergie sont traitées dans la section combustion d'énergie de l'industrie manufacturière.

a/ Première fusion

Voir descriptif en section 1A2b relative à la combustion d'énergie.

Le $SF_6$ était utilisé comme gaz inertant pour la production de magnésium notamment, en raison de la complexité du procédé. Un seul site de production de magnésium de première fusion a fonctionné jusqu'en 2002 et a transmis ses consommations de $SF_6$ [222].Il y avait donc des émissions de $SF_6$ dues à des fuites lors de la production [222].

Le procédé de fabrication utilise la dolomie ($CaMg(CO_3)_2$) comme matière première ce qui engendre des émissions de $CO_2$ sous l'effet de la chaleur (décarbonatation).

L'activité retenue correspond à la quantité de dolomie consommée par l'unique site producteur jusqu'en 2002. Ces données sont confidentielles.

b/ Seconde fusion

Outre le site précédemment évoqué après transformation, il existe également d'autres sites de production de magnésium de seconde fusion qui utilisent aussi le $SF_6$ comme gaz inertant. Depuis 2009, du HFC-134a est utilisé sur un site en complément et substitution du $SF_6$. Conformément au règlement n°517/2014 du 16/04/2004 relatif au gaz à effet de serre fluorés, le $SF_6$ pour le moulage sous pression du magnésium et le recyclage des alliages de magnésium moulés sous pression a été interdit à compter du 1er janvier 2018.

➢ Décarbonatation dans les fonderies de fonte

Ce paragraphe permet d'introduire la méthode de calcul des différentes sources émettrices de $CO_2$ en termes de décarbonatation dans les fonderies de fonte.

Quatre sites de fonderie de fonte déclarent des émissions de $CO_2$ liées à l'utilisation de produits carbonés : castine, chaux, carbure de silicium, etc., qui servent de fondants.

## 4.4.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/donnees-air-climat/methodologie-de-linventaire-ominea/.

### 4.4.2.1 Procédés de la sidérurgie et de la transformation de l'acier (2C1)

Les productions nationales des différents ateliers sidérurgiques sont fournies par différentes sources : les déclarations annuelles (dont les déclarations au titre du SEQE-UE) [19], la fédération professionnelle [27] et le SESSI [53].

Les facteurs d'émission sont calculés d'après les informations relatives aux différents sites [19, 50] et aux caractéristiques des matières et procédés [27].

Il convient de noter que la distinction entre les émissions liées à la combustion (1A2a) et les émissions liées au procédé (2C1) est réalisée en fonction de l'atelier sidérurgique, des natures des intrants et de la prise en compte des lignes directrices pour la réalisation des inventaires.

La fédération professionnelle fournit un bilan des consommations et productions « Energies et matières » par atelier [27] jusqu'en 2013.

Par exemple, l'atelier de production de fonte (au sein du haut-fourneau) utilise du coke et des charbons comme agents réducteurs (matières premières à émissions liées au procédé) et des combustibles liquides et gazeux pour réchauffer l'air injecté à la base du haut-fourneau qui provoque la combustion des matières premières (émissions liées à la combustion). Des gaz de haut-fourneau issus de la transformation des matières premières sont produits et sont en partie réutilisés comme combustibles (apport énergétique) au sein du site intégré. Les émissions des gaz de haut-fourneau non valorisés et issues de la transformation des matières premières sont comptabilisées en procédé. La distinction est réalisée de différentes façons selon les substances considérées (cf. sections dédiées aux émissions par polluant) et en considérant les lignes directrices pour la réalisation des inventaires des émissions. A partir de 2014, les données fournies par la fédération professionnelle [27] ne sont plus disponibles. Afin d'estimer les consommations de combustible pour

les ateliers : agglomération, hauts-fourneaux, convertisseurs à oxygène, aciérie électrique, autres ateliers, une estimation de la consommation totale de combustibles par atelier est réalisée à partir de la production (par type d'atelier) et d'un ratio moyen entre la consommation totale et la production, basé sur les années connues. Une répartition moyenne des consommations par type de combustible, basée sur les années connues, est appliquée à la consommation totale afin d'obtenir les consommations par combustible. Lorsque les productions individuelles des sites connus sont disponibles, elles sont utilisées [19].

Pour l'activité de traitement de résidus métalliques (2.C.1.f – Autres), seules les émissions de $CO_2$ sont actuellement estimées et proviennent des déclarations annuelles du site [19]. Les données sont confidentielles.

La répartition des flux de combustibles et matériaux entrants des installations sidérurgiques et des émissions de gaz à effet de serre associées est présentée ci-dessous :

**Figure 99 : Répartition des flux de combustibles et matières des installations sidérurgiques et des émissions de $CO_2$ associées**

Schéma tiré des Lignes directrices du GIEC – Refinement 2019 (V3_CH04_Figure 4.8d), et adapté à la situation française

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ liées aux consommations de combustibles solides et aux consommations de gaz sidérurgiques au sein des ateliers sidérurgiques, hors GIC (grande installation de combustion), sont allouées au secteur CRT 2C1, conformément aux lignes directrices du GIEC 2006.

Les émissions de $CO_2$ sont estimées de la façon suivante :

- De 2005 à nos jours :

**Equation 1 :**

$$E\ CO_{2\ procédé\ (2C1)} = E\ CO_{2\ totales\ SEQE} - E\ CO_{2\ cokeries} - E\ CO_{2\ combustion(liq,gaz)} - E\ CO_{2\ GIC}$$

Avec :

| | |
|---|---|
| $E\ CO_{2\ procédé\ (2C1)}$ : | les émissions de $CO_2$ attribuées au procédé (2C1), issues de la consommation de matériaux et agents réducteurs, de combustibles solides et de la réutilisation de gaz sidérurgiques au sein des sites sidérurgiques, |
| $E\ CO_{2\ totales\ SEQE}$ : | les émissions totales de $CO_2$ déclarées par les installations soumises au SEQE, depuis 2005, |
| $E\ CO_{2\ cokeries}$ : | les émissions de $CO_2$ issues des cokeries (affectées au secteur Energie 1A1c), |
| $E\ CO_{2\ combustion}$ : | les émissions de $CO_2$ issues de la combustion des combustibles liquides et gazeux (au sens du GIEC) au sein des ateliers des aciéries (électriques et intégrées), hors production de chaleur ou d'électricité (affectées au secteur Energie 1A2a), |
| $E\ CO_{2\ GIC}$ : | les émissions de $CO_2$ issues de la combustion de combustibles pour la production de chaleur ou d'électricité des installations GIC (installations de combustion de puissance supérieure à 50 MW) (affectées au secteur Energie 1A). |

- De 1990 à 2004 :

Pour la série temporelle 1990-2004, les émissions de $CO_2$ procédé des ateliers sidérurgiques ne sont pas déclarées dans le SEQE (démarrage en 2005). Pour assurer la cohérence temporelle, les émissions sont donc estimées à l'aide de facteurs d'émission moyens basés sur les déclarations des années 2005-2019, et les activités respectives des divers ateliers. Pour ce faire, l'équation 2 est utilisée et les émissions sont estimées de la façon suivante :

**Equation 2 :**

$$E\ CO_{2\ procédé\ (2C1)} = E\ CO_{2\ acier\ O2\ (hors\ gaz\ nat,\ liq)} + E\ CO_{2\ acier\ élec\ (hors\ gaz\ nat,\ liq)} + E\ CO_{2\ autres\ ateliers\ (hors\ gaz\ nat,\ liq)}$$

$$= Prod._{acier\ O2} \times FE\ CO_{2\ moyen\ acier\ O2\ (hors\ gaz\ nat,\ liq,\ hors\ cokerie)\ (2005\text{-}2011)}$$

$$+ Prod._{acier\ élec} \times FE\ CO_{2\ moyen\ acier\ élec\ (hors\ gaz\ nat,\ liq)\ (2005\text{-}2018)}$$

$$+ \%_{moyen\ autres\ ateliers\ (hors\ gaz\ nat,\ liq)(2005\text{-}2019)} \times E\ CO_{2\ totales}$$

Avec :

| | |
|---|---|
| FE $CO_{2\ moyens}$ | les FEs $CO_2$ moyens (aciéries $O_2$ et aciéries électriques) sont estimés grâce aux émissions de $CO_2$ et productions déclarées par les installations soumises au SEQE, avec : |
| FE $CO_{2\ moyen\ acier\ O2\ (hors\ gaz\ nat,\ liq,\ hors\ cokerie)\ (2005\text{-}2011)}$ | pour les émissions des sites intégrés produisant de l'acier grâce un convertisseur $O_2$, le FE est pris égal à la moyenne 2005-2011. En effet, l'un des sites sidérurgiques intégrés n'a conservé que sa cokerie après 2011. |
| FE $CO_{2\ moyen\ acier\ élec\ (hors\ gaz\ nat,\ liq)\ (2005\text{-}2018)}$ | pour le FE $CO_2$ moyen des aciéries électriques, la moyenne est prise sur la série temporelle 2005-2018. |
| $\%_{\ moyen\ autres\ ateliers\ (hors\ gaz\ nat,\ liq)}$ | pour le pourcentage moyen des autres ateliers, la moyenne est prise sur la série temporelle 2005-2019. Par manque d'information et de données d'activité, les émissions des autres ateliers sidérurgiques sont estimées grâce au total des émissions $CO_2$ dites « procédé » (E $CO_{2\ totales}$), qui représentent environ 2,7 % de ce total. |

Les déclarations des émissions des exploitants ne permettant pas de faire une distinction précise des émissions par atelier, l'ensemble des émissions de $CO_2$ liées au procédé sont allouées au secteur CRT 2C1a – production d'acier.

La variation annuelle du facteur d'émission de $CO_2$ s'explique principalement par le taux très variable de valorisation des gaz sidérurgiques selon les années, qui impacte directement les émissions finales.

➢ Agglomération de minerai

Il existe actuellement trois chaines d'agglomération en France, deux autres ayant été arrêtée fin 2011 et en 2018. Toutes utilisent de la *castine* comme fondant dans le procédé (les émissions de $CO_2$ proviennent de la décarbonatation de la castine). La matière première principale est le *minerai de fer*, qui peut contenir une faible quantité de carbone (élaboration d'agglomérés de minerai de fer pour la production de fonte puis d'acier dans les usines sidérurgiques intégrées, ou élaboration d'agglomérés divers (ferromanganèse par exemple)).

Les émissions de $CO_2$ liées à l'utilisation de castine et de matières carbonées au sein de l'atelier d'agglomération (émissions de procédé) sont estimées grâce aux équations 1 et 2 détaillées précédemment et affectées au secteur CRT 2C1a.

➢ Chargement et coulée des hauts-fourneaux

Au chargement et à la coulée du haut-fourneau, les fuites de gaz de haut-fourneau sont en grande partie captées. Toutefois, une partie est perdue.

Les émissions de $CO_2$ se produisant au chargement et à la coulée des hauts-fourneaux (émissions de procédé) sont estimées grâce aux équations 1 et 2 détaillées précédemment et affectées au secteur CRT 2C1a.

➢ Convertisseurs à oxygène

Les émissions de $CO_2$ liées à l'utilisation de fonte, gaz sidérurgiques, ferrailles, minerai de fer, dolomie et autres matières carbonées au sein de l'aciérie à oxygène (émissions de procédé) sont estimées grâce aux équations 1 et 2 détaillées précédemment et affectées au secteur CRT 2C1a.

➢ Aciéries électriques

Les émissions de $CO_2$ liées à l'utilisation de ferrailles, fonte, matières carbonées (par exemple : ferro-chrome carburés, ferro-manganèse carburés, carbone chrome silicié), d'électrodes au sein des aciéries électriques (émissions de procédé) sont estimées grâce aux équations 1 et 2 détaillées précédemment et affectées au secteur CRT 2C1a.

➢ Autres procédés

L'analyse des déclarations annuelles d'émission a permis la prise en compte des émissions de $CO_2$ d'un site de valorisation de résidus métalliques sous forme de ferroalliages. Le procédé est proche d'un four électrique de sidérurgie. Les émissions sont des émissions liées au procédé de fabrication, qui comprend un four électrique constitué d'électrodes en carbone, l'apport d'agents réducteurs (anthracite puis coke) et de résidus métalliques pouvant contenir du carbone. Les émissions de $CO_2$ sont issues des déclarations annuelles du site [19]. Seules des émissions de $CO_2$ sont considérées pour ce site, et allouées au secteur CRT 2C1f.

***Emissions de $CH_4$***

Les ateliers « Agglomération de minerai », « Convertisseurs à oxygène » et « Aciéries électriques » sont considérés comme émetteurs de $CH_4$.

Comme pour le $CO_2$, les émissions de $CH_4$ liées aux consommations de combustibles solides et des gaz sidérurgiques au sein des différents ateliers sidérurgiques (liées à la combustion, cf. section 1A2a « Iron and steel »), hors GIC, sont également désormais allouées au CRT 2C1 conformément aux lignes directrices du GIEC 2006.

➢ *Agglomération de minerai*

Les émissions de $CH_4$ sont connues annuellement, site par site depuis 2003 [19]. A l'aide de la production nationale d'agglomérés, un facteur d'émission moyen est recalculé. Pour rapporter les émissions liées à la combustion par type de combustible, les facteurs d'émission standards nationaux par combustible sont utilisés, pondérés par le facteur d'émission issu des déclarations annuelles (afin d'assurer la cohérence avec les émissions déclarées). Du fait de la méthodologie décrite en début du paragraphe « Emissions de $CH_4$ », ces émissions sont allouées au secteur 2C1a-Steel production. Avant 2003, un facteur d'émission moyen basé sur les données de 2003 et 2004 est appliqué.

➢ *Convertisseurs à oxygène*

Le calcul des émissions de $CH_4$ est effectué sur la base d'un facteur d'émission provenant du Guidebook EMEP / CORINAIR [17] et de la production d'acier par les convertisseurs à oxygène.

➢ *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est calculé sur la base de la production d'acier par les aciéries électriques et des déclarations annuelles à partir de 2006 [19]. Avant 2006, un facteur d'émission moyen calculé sur les années 2006-2008 est appliqué aux productions des années antérieures.

***Emissions de $N_2O$***

Pas d'émission attendue. Cf. section 1A2a.

***Emissions de Gaz fluorés***

Pas d'émission attendue.

#### 4.4.2.2 Production de ferroalliages (2C2)

La production nationale de ferroalliages est connue via les déclarations annuelles des sites de métropole [19] à partir de 2005 et par d'autres sources d'information avant 2005 [50], [418], [958], [1317], [1318].

Les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission provenant de données des exploitants [19] [50] et de valeurs par défaut, ou, pour les sites de Nouvelle-Calédonie, au moyen d'un bilan massique déterminé sur la base des quantités de carbone contenues dans les matières entrantes et les produits. La méthode appliquée est de rang GIEC 1/2/3.

***Emissions de $CO_2$***

- Ferroalliages (hors ferrosilicium)

Métropole

Pour le procédé électrique, le facteur d'émission du CO2 est déduit des déclarations annuelles [19] ainsi que de données fournies directement par les exploitants [50] à partir de 2000. Pour chaque site, le facteur d'émission de la dernière année connue est appliqué aux années antérieures. Depuis 2003, les données d'émissions de CO2 sont directement déterminées à partir des déclarations annuelles [19].

Pour le procédé hauts fourneaux, il n'y a plus d'émissions depuis la fermeture du dernier site en 2003. Pour les années antérieures, le facteur d'émission provient des lignes directrices du GIEC 2006 [959].

Outre-Mer (périmètre CCNUCC)

Il existe trois sites en Nouvelle-Calédonie depuis l'ouverture d'une installation en 2013. Les facteurs d'émission sur la période sont calculés à partir des productions et émissions connues pour les années 2005 à 2022 pour un premier site, 2013 à 2021 pour un second, 2009 à 2016 pour le troisième. Compte tenu du nombre limité de sites, les facteurs d'émission sont confidentiels.

- Ferrosilicium

Depuis 2013 :

Les données d'émissions de procédé et de consommation par réducteur proviennent des déclarations annuelles [19] sous forme de bilan matière. La part des émissions de procédé parmi les émissions totales est déterminée, le solde correspondant à de la combustion.

Entre 2003 et 2012 :

Les émissions de procédé par site sont recalculées à partir des émissions totales déclarées [19] et de la part moyenne des émissions de procédé dans les émissions totales sur la période 2013-2015. Les consommations par combustible proviennent des enquêtes statistiques [26] et de recalculs à partir des émissions de procédé par site, de la répartition moyenne des combustibles et des facteurs d'émission spécifiques moyens sur la période 2013-2015.

De 1990 à 2002 :

Les émissions sont estimées à partir des données de consommations, issues des enquêtes statistiques [26] ou reportées de l'année 2003, et des facteurs d'émission moyens sur la période 2013-2015.

***Emissions de $CH_4$***

- Ferroalliages (hors ferrosilicium)

Les émissions de $CH_4$ sont estimées uniquement pour la production de ferrosilicium et d'alliages de silicium [950]. Un seul site a produit du FeSi puis du silicomanganèse. Les données sont confidentielles.

Les émissions de $N_2O$ sont négligées [950].

- Ferrosilicium

Les émissions de $CH_4$ sont estimées à partir d'une méthodologie Tier 1 et d'un facteur d'émission issu des lignes directrices 2006 [950]. La production n'est pas disponible dans les statistiques sur toute la série temporelle et n'est connue qu'à partir de 2014 pour les 5 sites pris dans le bottom up. La production des années antérieures est estimée à partir des émissions $CO_2$ et du FE $CO_2$ moyen des années 2014 à 2016.

#### 4.4.2.3 Production d'aluminium (2C3)

La méthode appliquée est de rang GIEC 3 pour les gaz à effet de serre.

La production d'aluminium primaire est recensée au niveau national dans les statistiques industrielles [53, 223] depuis 1990 et par installation via les déclarations annuelles de rejets dans l'environnement [19] à partir de 2003. Les émissions sont déterminées au moyen de données spécifiques et de facteurs d'émission issus de la profession [19, 222, 742] ou par défaut.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ liées au procédé sont induites par la réaction des anodes en carbone avec l'oxygène généré par l'électrolyse et une réaction secondaire avec l'air. Elles représentent environ 85 % des émissions totales de $CO_2$ sur un site de production d'aluminium primaire. Une petite partie des émissions de $CO_2$ provient de la production d'anodes, compte tenu de l'utilisation de coke de pétrole et de brai en tant que matières premières.

Ces émissions sont déterminées sur la base des informations fournies par les producteurs, site par site, dans le cadre du système d'engagement volontaire AERES de 1990 à 2004 [222, 742]. Ces données ont fait l'objet de vérifications externes. A partir de 2005, les données sont obtenues à partir des déclarations annuelles [19] ou communiquées par les exploitants [222].

L'évolution du facteur d'émission de $CO_2$ est notamment influencée par le nombre et l'intensité des effets d'anode, lorsque l'anode en carbone est consommée prématurément.

En cas de données manquantes, les émissions de $CO_2$ liées à la consommation d'anodes précuites sont calculées à partir des Lignes directrices du GIEC sur la base des données transmises par les exploitants [1208].

***Emissions de Gaz fluorés***

$SF_6$

En règle générale, le procédé n'est pas émetteur de $SF_6$ hormis au niveau des postes électriques dans lesquels ce gaz est utilisé en tant qu'isolant. Dans l'inventaire, ce poste est traité dans la section 2G et par conséquent n'est pas repris ici.

Pour mémoire, indépendamment des postes électriques, le $SF_6$ a été utilisé en très faible quantité en fonderie par un seul site pendant 3 années. Les émissions marginales afférentes, qui ne dépassent pas 4 kg de $SF_6$ par an au maximum en 2010, ont été déclarées par l'exploitant [19]. Depuis 2012, l'exploitant indique ne plus consommer de SF6 en fonderie [19].

PFC

Les seuls gaz fluorocarbonés émis sont des perfluorocarbures (PFC). La production d'aluminium par électrolyse entraîne des émissions de PFC par effet d'anode, lorsque l'alumine vient à manquer dans la cuve d'électrolyse. Les PFC impliqués sont le $CF_4$ et le $C_2F_6$.

De 1990 à 2004, les émissions de $CF_4$ et de $C_2F_6$ sont communiquées par Rio Tinto Alcan dans le cadre du système d'engagement volontaire AERES [222, 742]. Ces données ont fait l'objet de vérifications externes. En 2005 et 2006, les données d'émission proviennent des déclarations annuelles des différents sites [19]. De 2007 à 2012, les données d'émission de $CF_4$ et de $C_2F_6$ proviennent de communications avec les exploitants [222]. A noter que pour un site fermé en 2008, les émissions de $CF_4$ et de $C_2F_6$ entre 2006 et 2008 sont estimées à partir des émissions globales de PFC déclarées et de la répartition $CF_4/C_2F_6$ de 2005.

Depuis 2013, la production d'aluminium primaire entre dans le champ du système d'échange de quotas d'émission [SEQE] de gaz à effet de serre de l'Union européenne, les émissions distinctes de $CF_4$ et $C_2F_6$ sont désormais disponibles dans les déclarations annuelles des émissions [19] et sont utilisées.

Depuis 1990, les sites se sont engagés à réduire « l'effet d'anode », très émetteur de PFC, à travers la mise en place de nouvelles technologies et d'un contrôle plus performant de la quantité d'alumine. La mise en œuvre de ces technologies ainsi que l'arrêt en 2009 d'un site très émetteur de PFC explique la diminution des facteurs d'émission au cours du temps.

**Figure 100 : Récapitulatif des données d'émissions pour les GES**

<table>
<tr><th></th><th>1990</th><th>2004 - 2005</th><th colspan="2">2006 - 2007</th><th>2012 - 2013</th></tr>
<tr><td>$CO_2$</td><td rowspan="2">Emissions estimées dans le cadre de l'AERES par les producteurs [222,742]</td><td colspan="2">Déclarations annuelles de rejets GEREP [19]</td><td rowspan="2">Déclarations annuelles de rejets GEREP – Emissions déclarées au titre du SEQE [19]</td></tr>
<tr><td>PFC</td><td>Déclarations annuelles de rejets GEREP [19]</td><td>Données internes communiquées pour tous les sites [19]</td></tr>
</table>

L'ensemble des émissions de GES sur la série temporelle provient de données fournies, par site, par les exploitants et vérifiées pour la quasi-totalité des années. Le périmètre considéré pour les émissions couvre tous les sites producteurs et est constant sur l'ensemble de la série, mis à part les fermetures de sites depuis 1990. Pour les PFC, la méthodologie correspond à une approche bottom-up assimilée à un rang 3 puisque les émissions de PFC sont obtenues à partir de la méthode internationale de l'IAI (International Aluminium Institute) et du règlement UE n°601/2012. Pour information, les 2 principaux sites producteurs encore en activité utilisent la méthode des pentes. Pour le $CO_2$, la méthodologie correspond à une approche bottom-up assimilée à un rang 3 puisque les émissions collectées sont déterminées à partir de la consommation d'anodes et d'analyses. Par ailleurs, depuis 2013 les exploitants appliquent le règlement UE n°601/2012 dont la méthode est basée sur les lignes directrices 2006 du GIEC.

Malgré le fait que la production, sur la période 1990-2002, provienne de données statistiques non détaillées par site, le facteur d'émission global de $CO_2$ est cohérent sur toute la série temporelle car l'ordre de grandeur est constant et reste proche des valeurs indiquées dans les lignes directrices 2006 du GIEC.

Les facteurs d'émissions recalculés, dont certaines valeurs sont présentées dans la section QA/QC ci-après, sont disponibles dans la base de données OMINEA.

### 4.4.2.4 Production de zinc (2C6)

***Emissions de $CO_2$***

Très peu de sites en France sont concernés par les émissions de procédés liées à la production de zinc, première et seconde fusion. La méthode appliquée est de rang GIEC 2 et 3.

Les émissions de procédés de ces sites sont déterminées :

- Pour la production de zinc première fusion : à partir des déclarations annuelles [19],
- Pour la production de zinc seconde fusion : à partir des déclarations annuelles par bilan matière depuis 2013 [19]. Avant 2013, les émissions sont calculées à partir des quantités de carbones entrantes, liées aux consommations de coke (agent réducteur)

communiquées par l'exploitant [714], et des quantités de carbone sortantes, calculées à partir de la production d'oxydes de Waelz [714] et de la teneur en carbone moyenne des oxydes de Waelz pour les années 2013 à 2015.

Compte tenu du faible nombre de sites concernés, les facteurs d'émission associés sont confidentiels.

Les autres gaz à effet de serre ne sont pas concernés par les émissions de procédé relatifs à la production de zinc.

#### 4.4.2.5 Autres (2C7)

- Production de magnésium

La méthode appliquée est de rang GIEC 2.

***Emissions de $CO_2$***

Le seul site de production de magnésium en France a fermé en 2002. Ce site utilisait la dolomie ($CaMg(CO_3)_2$) comme matière première qui engendre des émissions de $CO_2$ sous l'effet de la chaleur (décarbonatation).

De 1990 à 2002, la production de magnésium de première fusion de l'unique site est connue [223]. Les lignes directrices du GIEC 2006 [528] fournissent le facteur d'émission de $CO_2$ lié à la décarbonatation par tonne de magnésium produit. Les émissions de $CO_2$ induites par l'utilisation de dolomie résultent du produit de ces deux paramètres.

Le facteur d'émission de $CO_2$ relatif à l'utilisation de dolomie est disponible dans la littérature [529]. La consommation de dolomie est déterminée à partir de ce facteur d'émission et des émissions calculées précédemment.

***Emissions de Gaz fluorés***

$SF_6$

La totalité du $SF_6$ utilisé pour la production de magnésium est supposée émise à l'atmosphère. Les émissions sont déterminées à partir des déclarations annuelles [19] et des données transmises par les exploitants [50]. Ces données sont confidentielles.

HFC

La totalité du HFC-134a utilisé pour la production de magnésium est supposée émise à l'atmosphère. Les émissions sont déterminées à partir des déclarations annuelles [19] et des données transmises par la fonderie employant cette substance [50]. Les émissions sont confidentielles car elles proviennent d'une seule fonderie. Pour des raisons de confidentialité les émissions sont agrégées avec d'autres secteurs (solvant, fabrication de caoutchouc synthétique, etc.) dans les tables CRT (unspecified mix of HFCs, table 2(II)).

- Décarbonatation dans les fonderies de fonte

La méthode appliquée est de rang GIEC 2 jusqu'en 2012 et de rang 3 à partir de 2013.

Les données de consommation de matières carbonées sont connues depuis 2013 via les déclarations annuelles [19].

Avant 2013, faute de données, il est supposé que les consommations de carbonates sont constantes sauf pour un site pour lequel on dispose de ces données sur la période 2005-2012 (communication directe du site).

***Emissions de $CO_2$***

Méthode mise en œuvre

Il convient de distinguer trois périodes :

A partir de 2020, les émissions de $CO_2$ proviennent directement des déclarations annuelles [19] pour les quatre sites recensés.

Entre 2013 et 2019 inclus : pour trois sites, les émissions de $CO_2$ proviennent directement des déclarations annuelles [19] et pour le dernier site, les émissions sont calculées à partir de la consommation de matières carbonées et des facteurs d'émission par défaut des matières carbonées présentées ci-après.

Avant 2013 : pour trois sites, les émissions de $CO_2$ de l'année 2013 sont reportées sur la période 1990-2012 et pour un site, les émissions sont estimées à partir des consommations de matières carbonées et des facteurs d'émission par défaut.

Facteurs d'émission $CO_2$

Les matières carbonées utilisées par leurs fondeurs de fonte sont de trois types :

- castine
- carbure de silicium
- carbure de calcium

Le facteur d'émission pour la castine est celui du calcaire, arrondi à 440 kg/t [763].

Pour le carbure de silicium, le facteur d'émission n'est pas disponible dans la littérature (GIEC) donc il est fait l'hypothèse que l'équation suivante est stœchiométrique.

$SiC + O_2$ à $Si + CO_2$

La teneur en carbone dans le composé SiC est de 0,3 (12/(12+28,09)) et donc le facteur d'émission est de 1 097 kg/t.

Pour le carbure de calcium, une valeur de 1 100 kg/t est retenue par le Citepa dans l'inventaire.

## 4.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par Tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 2C).

Les incertitudes sur les activités et facteurs d'émission estimées pour la catégorie 2C dépendent du type de gaz à effet de serre puisque les sous-secteurs sont différents les uns des autres.

Les incertitudes liées à l'activité sont égales à :

- 10 % pour les activités engendrant des émissions de $CO_2$ et le $CH_4$ (IPCC 2006 - vol3-4-ch4- table 4.4) ;
- 2 % pour les activités engendrant des émissions de PFC (IPCC 2006 - vol3-4-ch4 - section 4.4.3.2) ;
- 5 % pour les activités engendrant des émissions le SF6 (IPCC 2006 - vol3-4-ch4 section).

Les incertitudes liées au facteur d'émission sont égales à :

- 10 % pour le $CO_2$ et le $CH_4$ (IPCC 2006 - vol3-4-ch4- table 4.4) ;
- 12 % pour les PFC (IPCC 2006 - vol3-4-ch4 - section 4.4.3.1) ;
- 30 % pour le $SF_6$ (IPCC 2006 - vol3-4-ch4 – section).

Sur l'ensemble du secteur 2C, l'incertitude associée à l'activité et au facteur d'émission est donc relativement faible. Ceci reflète le fait que les productions des différents produits de ce secteur sont bien connues et disponibles soit dans les déclarations, soit par contact direct avec les exploitants ou les fédérations professionnelles.

La cohérence temporelle des séries est conservée sur l'ensemble de la période :

- pour les procédés de la sidérurgie et de la transformation de l'acier (2C1), les statistiques « énergie et matière » de la fédération professionnelle sont disponibles depuis 1990. Pour les années où ces statistiques ne sont plus disponibles (à partir de 2014), une estimation est faite sur la base de l'évolution des productions des sites connus qui sont inclus dans le périmètre des statistiques et de ratios moyens d'utilisation des matières entrantes. Les données globales SEQE sont utilisées pour le calcul des émissions liées au procédé,
- concernant la production de ferroalliages, toutes les données utilisées proviennent directement des exploitants. Les données des années non connues ont été estimées pour chaque site en se basant sur les données de la dernière année connue,
- pour la production d'aluminium, des données individuelles pour chaque site sont utilisées pour l'ensemble de la période.

## 4.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Des dispositions spécifiques sont aussi mises en œuvre selon les secteurs :

- **Procédés de la sidérurgie et de la transformation de l'acier (2C1) :** les statistiques utilisées pour les données d'activité proviennent de la fédération professionnelle du secteur [27] qui applique ses propres procédures d'assurance qualité. Des données d'émissions provenant des déclarations annuelles des émissions, qui sont validées en amont par un vérificateur agréé et par l'autorité compétente locale (DREAL), sont utilisées lorsqu'elles sont disponibles. Le Citepa effectue également des vérifications internes sur la cohérence des séries dans le temps, par atelier et par type de matière ou combustible, et procède à des échanges réguliers avec la fédération professionnelle et avec les différents sites industriels pour valider les informations fournies. La majorité du secteur étant soumis au Système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre (SEQE), un contrôle de cohérence avec les déclarations SEQE ($CO_2$) est réalisé au global.

**Tableau 103 : Comparaison des facteurs d'émission $CO_2$ de l'inventaire avec les lignes directrices du GIEC 2006**

| Ratios de productions | Lignes directrices 2006 du GIEC | Données inventaire 2023 |
|---|---|---|
| t agglomérées / t fonte produite (haut-fourneau) | 1,16 | 1,16 |
| t fonte / t acier produit (four $O_2$) | 0,94 | 0,96 |

- **Production de ferroalliages (2C2), d'aluminium primaire (2C3), de zinc (2C6) et autre (2C7) :** pour ces secteurs, les émissions obtenues dans les déclarations annuelles des exploitants sont vérifiées par les autorités locales (DREAL) puis validées par le Ministère chargé de l'Environnement (MTE). Des contacts sont également développés avec les industriels pour estimer les émissions des sites non concernés par cette déclaration.

Exemple pour les ferroalliages (2C2) :

**Tableau 104 : Facteurs d'émission $CO_2$ - GIEC 2006 – Tier 1**

TABLEAU 4.5
FACTEURS D'EMISSION DE $CO_2$ GENERIQUES POUR LA PRODUCTION DE FERROALLIAGES

| Type de ferroalliage | Facteur d'émission |
|---|---|
| Ferro-silicium à 45% de Si | 2,5 |
| Ferro-silicium à 65 % de Si | 3,6 |
| Ferro-silicium à 75% de Si | 4,0 |
| Ferro-silicium à 90% de Si | 4,8 |
| Ferro-manganèse (7% de C) | 1,3 |
| Ferro-manganèse (1% de C) | 1,5 |
| Sillicomanganèse | 1,4 |
| Métal de silicium | 5,0 |
| Ferrochrome | 1,3 (1,6 pour une usine d'aggloméré) |

Source : GIEC (1997), GIEC (2000), Olsen (2004) et Lindstad (2004)

**Tableau 105 : Facteur d'émission $CO_2$ nationaux pour la production de ferroalliages en métropole**

| | 1990 | 2000 | 2010 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Facteur d'émission $CO_2$ (t/t) | 1,50 | 1,38 | 1,17 | 1,33 | 1,36 | 1,35 |

La production de ferroalliages en métropole étant dominée par la production de ferromanganèse, les facteurs d'émission nationaux sont en ligne avec ceux du GIEC 2006.

- Production d'aluminium primaire (2C3) :

Les facteurs d'émission nationaux sont cohérents avec les plages de valeurs des facteurs d'émission des lignes directrices 2006 du GIEC :

**Tableau 106 : Evolution des facteurs d'émission de GES pour le CRT 2C3 en comparaison à celui des lignes directrices du GIEC 2006**

| FE (kg/t d'Al produit) | Lignes directrices 2006 du GIEC | FE nationaux 1990 | FE nationaux 2005 | FE nationaux 2010 | FE nationaux 2022 | FE nationaux 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 1 600 ±10 % | 1 637 | 1 577 | 1 670 | 1 587 | 1 594 |
| $CF_4$ | 0,4 -99/+380 % | 1,131 | 0,179 | 0,018 | 0,011 | 0,007 |
| $C_2F_6$ | 0,04 -99/+380 % | 0,212 | 0,045 | 0,0012 | 0,0007 | 0,0005 |

Les émissions de PFC sont calculées par les sites grâce à la méthode internationale de l'IAI (International Aluminium Institute). Depuis 2013, les exploitants appliquent le règlement UE n°601/2012 relatif au système d'échange de quotas d'émission, dont la méthode est basée sur les lignes directrices 2006 du GIEC.

Depuis 1990, les sites se sont engagés à réduire « l'effet d'anode », très émetteur de PFC, à travers la mise en place de nouvelles technologies et d'un contrôle plus performant de la quantité d'alumine. La mise en œuvre de ces technologies ainsi que l'arrêt en 2009 d'un site très émetteur de PFC explique la diminution des facteurs d'émission de $CF_4$ et $C_2F_6$ au cours du temps.

## 4.4.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 2C**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 21 791 | 18 571 | 19 682 | 18 663 | 13 747 | 13 155 | 12 172 | 14 015 | 13 524 | 12 826 | 13 325 | 14 591 | 13 990 | 13 039 | 10 165 | 12 891 | 11 631 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 21 791 | 18 571 | 19 682 | 18 663 | 13 747 | 13 155 | 12 172 | 14 015 | 13 524 | 12 826 | 13 325 | 14 590 | 13 990 | 13 038 | 10 165 | 12 889 | 11 629 | 9 475 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,0021 | -0,0050 | -0,013 | -0,030 | -0,067 | -0,13 | -0,24 | -0,37 | -0,58 | -2,0 | -2,5 | +9 475 |
| | % | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /2.C

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

### 4.4.5.1 Production de fonte et d'acier (2C1)

**Description du recalcul**

Les recalculs mineurs observés dans le tableau ci-dessus sont liés à la production de fonte et d'acier (CRT 2C1). Ils résultent de l'intégration du taux de biométhane présent dans le gaz consommé sur le réseau de distribution, non-nul et croissant depuis 2012 (voir section générale Energie). En effet, bien que la majorité des consommations de gaz de réseau sont attribuées au CRT 1A2a, une partie de cet usage réside dans la partie « procédés » des productions d'aciers $O_2$ et électrique (SNAP 040206 et 040207).

**Raison et justification**

Amélioration de l'exactitude et de l'exhaustivité.

### 4.4.5.2 Production de ferroalliages (2C2)

**Description du recalcul**

- Ferroalliages (hors silicium) : pas de recalcul pour le périmètre France UE.

Pour la Nouvelle-Calédonie (inclue dans le périmètre France entière), sur la base des informations communiquées par la DIMENC et les exploitants : mise à jour des quantités d'intrants pour la période [2012-2022] pour un site, mise à jour du niveau de production 2022 pour un autre site. L'impact de ces modifications sur les émissions totales de $CO_2$ de la production de ferroalliage en Nouvelle-Calédonie, par rapport à l'édition précédente, est relativement faible sur la période [2012-2021] (<0,5%), et d'environ 11% sur 2022.

- Ferrosilicium : pas de recalcul.

**Raison et justification**

Amélioration de l'exactitude et de l'exhaustivité.

#### 4.4.5.3 Production d'aluminium primaire (2C3)

**Description du recalcul**

Pas de recalcul.

**Raison et justification**

NA.

## 4.4.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration prévue.

# 4.5 Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants (CRT 2D)

Cette catégorie regroupe plusieurs activités : l'utilisation de lubrifiants, l'utilisation de paraffines et les autres catégories (comprenant notamment l'usage des solvants, l'oxydation des COVNM et les émissions de $CO_2$ engendrées par l'utilisation d'urée).

Le tableau suivant présente les sous-secteurs du secteur 2D étant des catégories clés.

**Tableau 107 : Substances pour lesquelles le secteur 2D est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| - | - | - | - | - | - |

En 2023, aucun des secteurs du CRT 2D n'est source clé en niveau d'émission ou en évolution.

## 4.5.1 Caractéristiques de la catégorie

### 4.5.1.1 Utilisation de lubrifiants (2D1)

Cette section couvre les émissions de $CO_2$ liées à l'utilisation de lubrifiants dans les moteurs 4 temps (consommation non énergétique). Les émissions liées aux moteurs 2 temps (consommation énergétique) sont considérées dans les chapitres relatifs aux différents secteurs du transport (routier, engins de l'agriculture, maritime, plaisance et petits engins du résidentiel/tertiaire).

### 4.5.1.2 Utilisation de paraffine (2D2)

Cette section couvre les émissions de $CO_2$ liées à l'utilisation non énergétique de paraffines et de cires.

### 4.5.1.3 Autres (2D3)

#### 4.5.1.3.1 Utilisation de solvants (2D3-1)

Cette section regroupe l'ensemble des activités consommatrices de solvants que sont notamment l'application de peinture (dans l'industrie, le bâtiment, à usage domestique, etc.), la fabrication et mise en œuvre de produits chimiques, le dégraissage des métaux et le nettoyage à sec.

Ces activités sont des sources importantes de COVNM qui, selon les lignes directrices du GIEC 2006, sont converties en émissions de $CO_2$ en considérant leur oxydation ultime. Ces activités sont décrites par secteur dans les paragraphes suivants.

**Dégraissage et nettoyage à sec**

Cette section correspond à toutes les activités consommatrices de solvants pour le nettoyage des surfaces et le nettoyage à sec. Elle ne couvre pas l'usage domestique de solvants de nettoyage.

**Application de peinture**

Cette section concerne toutes les activités consommatrices de peintures dans l'industrie (i.e. construction de véhicules automobiles, réparation de véhicules, bâtiment et construction, prélaquage, construction de bateaux et autres applications industrielles de peinture) et l'utilisation domestique de peintures.

**Fabrication et mise en œuvre de produits chimiques**

Cette section comprend la mise en œuvre du polyester, du polychlorure de vinyle (PVC), du polyuréthane (PU), de mousse de polystyrène (PS) et de caoutchouc ainsi que la fabrication de produits pharmaceutiques, supports adhésifs et autres produits chimiques, peintures, encres et colles.

L'ennoblissement textile et le tannage du cuir sont supposés négligeables soit par le faible niveau d'activité, soit du fait de l'absence d'information. La fabrication de mousse engendre également des émissions de gaz fluorés qui sont traitées dans la section 2F2 relative aux mousses isolantes.

#### 4.5.1.3.2 Autres (2D3-4)

**Oxydateur de COVNM**

Cette section couvre les émissions de $CO_2$ liées à la destruction des COVNM en oxydateur thermique ou incinérateur des sites utilisant des solvants.

**Utilisation d'urée**

Cette section ne concerne que les émissions de $CO_2$. Elles sont induites par l'utilisation d'urée au sein de plusieurs applications :

- Utilisation d'urée par les systèmes de traitement des $NO_x$ (dé$NO_x$) de type SCR (Réduction sélective catalytique) par certaines centrales thermiques,
- Utilisation d'urée par les systèmes de traitement des $NO_x$ de type SCR par les véhicules routiers,
- Utilisation d'urée par les systèmes de traitement des $NO_x$ de type SNCR (Réduction non catalytique sélective) par les usines d'incinération de déchets non dangereux,
- Utilisation de l'urée dans le secteur industriel notamment pour la fabrication de matériaux thermodurcissables, d'adhésifs, etc.

La partie relative aux émissions provenant de la production d'urée est traitée dans une section spécifique (2B).

La partie relative aux émissions provenant de l'utilisation d'urée dans le secteur agricole est également traitée dans une section spécifique.

## 4.5.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/donnees-air-climat/methodologie-de-linventaire-ominea/.

### 4.5.2.1 Utilisation de lubrifiants (2D1)

Les lubrifiants sont utilisés dans les moteurs pour réduire les frottements des pièces mécaniques et leur usure précoce.

Ces lubrifiants peuvent être utilisés :

- Dans les moteurs 2 temps : ils sont mélangés à l'essence dans la chambre de combustion et sont donc considérés comme une consommation énergétique. C'est pour cela que ces consommations et émissions sont prises en compte dans les secteurs consommateurs (cf. transport routier, transport fluvial, transport maritime, résidentiel, agriculture / sylviculture / activités halieutiques).
- Dans les moteurs 4 temps : ils remontent du carter moteur dans la chambre de combustion en petite quantité correspondant à une consommation non énergétique.

La quantité totale de lubrifiants utilisés en France est obtenue à partir du bilan de l'énergie produit annuellement par le SDES [25].

Les quantités consommées par les moteurs 2 temps et 4 temps sont soustraites de la quantité nationale pour obtenir la quantité de lubrifiants destinés aux usages non énergétiques.

Les quantités de lubrifiants liées aux moteurs 4 temps du transport routier sont estimées à partir du modèle COPERT.

***Emissions de $CO_2$***

Le facteur d'émission de $CO_2$ appliqué pour les lubrifiants hors transport routier provient des lignes directrices du GIEC de 2006 [653]. Ce facteur d'émission est composé de plusieurs paramètres :

FE $CO_2$ = CC lubrifiant x ODU lubrifiant x masse molaire $CO_2$ / masse molaire C

Où :

CC lubrifiant : contenu carbone des lubrifiants (valeur GIEC par défaut = 20 kg C/GJ)

ODU lubrifiant : taux d'oxydation pendant l'utilisation (valeur GIEC par défaut = 20 %)

masse molaire $CO_2$ : 44 g/mol

masse molaire C : 12 g/mol

Le facteur d'émission utilisé est donc de 14,7 kg $CO_2$/GJ, et il est converti en kg $CO_2$/t de produit à partir du PCI moyen des lubrifiants.

Les consommations de lubrifiants sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 108 : Evolution des consommations de lubrifiants 2 temps et 4 temps, en France métropolitaine et dans les Outre-mer inclus dans l'UE, entre 1990 et 2023**

| | 1990 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total 2 temps + 4 temps métropole (t) | 933 000 | 889 000 | 769 000 | 621 000 | 580 000 | 523 900 | 469 700 |
| Total 2 temps métropole (énergétique) (t) | 19 784 | 21 570 | 20 557 | 19 387 | 14 988 | 10 379 | 10 927 |
| Total 4 temps métropole (non énergétique) (t) | 913 216 | 867 430 | 748 443 | 601 613 | 565012 | 513 521 | 458 773 |
| Total 4 temps Outre-mer inclus dans l'UE (non énergétique) (t) | 16 711 | 16 048 | 12 253 | 7 011 | 5 019 | 5 357 | 688 |

### 4.5.2.2 Utilisation de paraffine (2D2)

Les paraffines solides, ou cires et les paraffines liquides sont des produits obtenus en raffinerie à partir du pétrole.

La quantité totale de paraffines et cires utilisées en France est obtenue à partir du bilan de l'énergie publié annuellement par le SDES [25].

***Emissions de $CO_2$***

Le facteur d'émission de $CO_2$ appliqué pour l'utilisation de paraffines et de cires provient des lignes directrices du GIEC de 2006 [654]. Ce facteur d'émission est composé de plusieurs paramètres :

FE $CO_2$ = CC lubrifiant x ODU lubrifiant x masse molaire $CO_2$ / masse molaire C

Où :

CC lubrifiant : contenu carbone des lubrifiants (valeur GIEC par défaut = 20 kg C/GJ)

ODU lubrifiant : taux d'oxydation pendant l'utilisation (valeur GIEC par défaut = 20 %)

masse molaire $CO_2$ : 44 g/mol

masse molaire C : 12 g/mol

Le facteur d'émission utilisé est donc de 14,7 kg $CO_2$/GJ, et il est converti en kg $CO_2$/t de produit à partir du PCI de la paraffine.

### 4.5.2.3 Autres (2D3)

#### 4.5.2.3.1 Utilisation de solvants (2D3-1)

**Dégraissage et nettoyage à sec**

Pour le dégraissage des surfaces, l'activité correspond aux consommations totales de solvants (neufs + recyclés). Les taux de recyclage et d'émissions des solvants sont connus pour quelques années [113, 683]. Des interpolations sont faites pour les années manquantes.

Pour le nettoyage à sec, le perchloroéthylène (PER) est encore utilisé seulement dans les installations qui se trouvent dans des locaux non contigus. De nouveaux solvants hydrocarbonés commencent à pénétrer le marché français depuis les années 2000 (hydrocarbures, glycol, éther, etc.).

Les consommations de PER pour ce secteur sont déduites des ventes totales en France jusqu'en 2013. A partir de 2014, une estimation des consommations est réalisée en se basant sur la mise en œuvre de l'arrêté d'interdiction d'implantation de nouvelles machines au PER dans les locaux contigus à des commerces ou des habitations (98 % des installations) et de l'interdiction totale d'utilisation à partir

de 2022 [750]. Trois types de machines sont employés (i.e. machines à circuit ouvert, machines à circuit fermé et machines à circuit fermé nouvelle génération).

**Application de peinture**

Pour les secteurs du prélaquage et de la peinture automobile, il existe respectivement une dizaine et une quinzaine d'installations en France pour lesquelles les quantités de solvants mis en œuvre et les émissions associées sont connues à partir des déclarations des industriels [19]. Ces données permettent de prendre en compte les efforts de réduction progressivement mis en place par ces deux secteurs.

Les activités des autres secteurs industriels considérés sont définies à partir des données statistiques de la profession [111] et de données statistiques nationales [684, 685] (productions et imports/exports par type de peinture). Les usines sont trop nombreuses et les activités trop diverses pour les étudier individuellement. Toutefois, l'étude des déclarations de rejets annuels [19] de deux cents entreprises permet d'estimer la part des solvants non émis. Cette proportion est interpolée entre 1995 et 2004, année à partir de laquelle les plans de gestion des solvants deviennent exploitables dans les déclarations.

Les consommations domestiques de peintures sont estimées par le traitement des statistiques de la FIPEC [111] et des statistiques nationales [684, 685]. Les teneurs en solvants des différents produits sont déterminées en collaboration avec les industriels [112].

Les facteurs d'émission sont définis en fonction des concentrations en solvants pour chaque type de peinture. Ces teneurs sont revues régulièrement avec la profession pour prendre en compte l'évolution des contenus en solvants, notamment à la suite de l'application de la Directive 2004/42/CE du 21 avril 2004 relative à la réduction des émissions de COV dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicules.

**Fabrication et mise en œuvre de produits chimiques**

Des solvants ou des COVNM ayant certaines caractéristiques physico-chimiques (pentane comme agent d'expansion dans le polystyrène, styrène comme agent réactif de réticulation dans la transformation du polyester) sont utilisés lors de la production de chacun des produits considérés dans cette section.

En ce qui concerne la mise en œuvre de produits chimiques, la production ou la mise en œuvre de polyester, de PVC, de polyuréthane, de mousse de polystyrène, les activités (quantités de produits consommées) proviennent des déclarations annuelles des industriels et des statistiques nationales de production, de consommation, d'import et d'export [19, 53, 115, 351, 686, 749, 974].

Pour la fabrication d'encres, peintures et colles, la même méthodologie est utilisée. Les données d'activité proviennent des statistiques nationales [111, 351, 974].

En ce qui concerne les productions de pneumatiques et la mise en œuvre de caoutchouc, les activités sont disponibles auprès de la profession [116].

Les consommations de solvants utilisés dans la fabrication de produits pharmaceutiques proviennent d'une enquête auprès des professionnels du secteur [117] et des déclarations annuelles des rejets des industriels [19].

La consommation de solvants utilisés dans la fabrication de supports adhésifs ainsi que les émissions découlent directement du traitement des déclarations annuelles de rejets des industriels [19] (consommation de solvants déclarée ou déduite de la production de l'usine).

En ce qui concerne la fabrication et la mise en œuvre des autres produits chimiques (en chimie fine et parachimie), quatre sous-secteurs sont définis :

- la production de produits à l'origine d'émissions de COVNM de la chimie fine hors pharmacie,
- l'extraction des arômes alimentaires ou de parfumerie,
- la production de savons et détergents à l'origine d'émissions de particules,
- diverses activités difficilement classables dans un secteur particulier.

Pour les procédés émetteurs de COVNM, les émissions sont déterminées à partir des déclarations annuelles de rejets des industriels [19] depuis 2004. Pour les années antérieures, les émissions sont estimées site par site suivant les activités, le niveau observé en 2004 et la mise en place de système de traitement des émissions de COVNM. Pour les procédés émetteurs de particules, les activités proviennent des statistiques publiées par l'UIC [118] et les émissions sont calculées à partir d'un facteur d'émission.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ traduisent la transformation du carbone contenu dans les émissions de COVNM en $CO_2$ ultime.

Cette conversion se fait sur la base de la teneur en carbone calculée à partir de la spéciation des COVNM, c'est-à-dire en fonction des substances émises par sous-secteur. La teneur en carbone globale des émissions de COVNM induites via cette nouvelle méthodologie est proche de 70 % sur toute la période et est cohérente avec les valeurs par défaut des lignes directrices 2006 du GIEC (50-70 %) [772].

Pour les sous-secteurs du nettoyage à sec et du dégraissage de surface, les teneurs en carbone sont respectivement estimées à environ 15 % et 27 %. Concernant l'application de peinture, les teneurs en carbone varient entre 70 % et 90 % selon le sous-secteur.

Les principales réductions d'émissions ont eu lieu dans le secteur de l'application de peinture (grâce à une baisse de l'activité et une réduction de la teneur en solvant des peintures), du dégraissage et du nettoyage à sec (amélioration du recyclage et renouvellement des matériels). La mise en place de deux directives européennes a fortement contribué à réduire les émissions de COVNM :

- la directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de COV dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations. Cette directive, (abrogée et reprise en annexe de la directive 2010/75/UE depuis 2014), limite les émissions diffuses et canalisées d'une vingtaine d'activités industrielles ou artisanales (application de revêtement, nettoyage à sec, dégraissage des métaux, etc.),
- la directive 2004/42/CE du 21 avril 2004 relative à la réduction des émissions de COV dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicules et modifiant la directive 1999/13/CE. Cette directive limite le taux de solvant contenu dans les peintures bâtiment et réparation automobile. Une réduction en deux étapes a eu lieu, la première en 2007 et la seconde en 2010.

#### 4.5.2.3.2 Autres (2D3-4)

**Oxydateur de COVNM**

Les données issues des déclarations des industriels permettant d'estimer la quantité de COVNM détruits transformés en $CO_2$ par oxydation sont de deux types :

- des plans de gestion de solvants (PGS) ;
- ou directement des émissions de $CO_2$ issues de l'oxydation des COVNM déclarées en dehors des PGS [19].

Pour les sites industriels fournissant un PGS, les informations du champ O5 (solvants détruits par un système de traitement) sont considérées en écartant les traitements par absorption, par adsorption et par condensation qui n'entraînent pas d'émissions de $CO_2$.

Depuis l'année 2013, toutes les informations sont disponibles et sont prises en compte. Entre 2004 et 2012, les données des PGS sont disponibles et la part de destruction (incinération/oxydation) par rapport au O5 déclarés est supposée équivalente à celle de 2013. Avant 2004, les données de la dernière année disponible (2004) sont reportées faute d'information disponibles à ce jour.

A partir de 2013, les émissions de $CO_2$ liées à l'oxydation de COVNM déclarées directement par les sites industriels sont prises en compte. Dans ce cas, la première approche par le PGS n'est plus mise en œuvre pour ces sites afin d'éviter les doubles-comptes.

Il est considéré qu'il n'y a pas d'oxydateur de COVNM en Outre-mer.

***Emissions de $CO_2$***

La destruction par oxydation ou incinération de COVNM est à l'origine d'émissions de $CO_2$ car les composés organiques sont oxydés et convertis en $CO_2$.

Cette conversion se fait sur la base de la teneur en carbone calculée à partir de la spéciation en COVNM, c'est-à-dire en fonction des substances émises par sous-secteur. La teneur en carbone globale des émissions de COVNM induites via cette nouvelle méthodologie est proche de 70 % sur toute la période et est cohérente avec les valeurs par défaut des lignes directrices 2006 du GIEC (50-70 %) [772].

**Utilisation d'urée**

***Emissions de $CO_2$***

La méthode est de rang GIEC 1 à 3 selon les sous-secteurs.

**A. Utilisation d'urée par les centrales thermiques**

Certaines centrales thermiques utilisent de l'urée via leur système de traitement des NOx (déNOx) de type SCR (Réduction sélective catalytique). En 2022, quatre sites sont concernés en France métropolitaine et un seul en Outre-mer. Sur les années 2010 à 2012, une seule centrale thermique en France métropolitaine consommait de l'urée et quatre en Outre-mer. Les données de consommation d'urée et les émissions de $CO_2$ associées sont connues, pour les centrales thermiques qui en consomment, via leur déclaration annuelle de polluants [19] dans le cadre du SEQE.

Compte tenu du nombre limité de sites, le facteur d'émission ne peut pas être communiqué dans la base de données OMINEA.

**B. Utilisation d'urée par les véhicules routiers**

Les systèmes de post-traitement utilisés pour réduire les émissions de $NO_x$ dans le transport routier utilisent une solution aqueuse d'urée en tant qu'agent réducteur. Ils sont utilisés sur les véhicules lourds (y compris bus et cars) à partir de la norme Euro V ainsi que sur les véhicules légers à partir de la norme Euro 6. L'urée a un type chimique de $(NH_2)_2CO$ et quand il est injecté en amont d'un catalyseur d'hydrolyse dans la ligne d'échappement, la réaction suivante a lieu :

$(NH_2)_2CO + H_2O$ à $2NH_3 + CO_2$

L'ammoniac formé par cette réaction est le principal agent qui réagit avec les oxydes d'azote afin de les réduire en azote. Cependant, cette équation d'hydrolyse conduit également à la formation de dioxyde de carbone qui est libéré dans l'atmosphère.

Les spécifications de solution d'urée disponible dans le commerce pour les catalyseurs SCR pour les sources mobiles sont réglementée par la norme DIN 70070, qui précise que l'urée doit être en solution aqueuse à une teneur de 32,5 % en poids et une densité de 1,09 g/cm$^3$.

La consommation d'urée est estimée à partir de la consommation de carburant des véhicules avec les hypothèses suivantes [999, 730] :

Véhicules Euro 6 : entre 0,75 litre et 3 litres pour 1 000 km

Véhicules EURO V SCR : consommation d'urée = 6 % de la consommation de carburant

Véhicules EURO VI (tous SCR) = 3,5 % de la consommation de carburant.

Le facteur d'émission de 23,8 kg $CO_2$/t urée [999] est alors utilisé.

**C. Utilisation d'urée par les usines d'incinération de déchets non dangereux**

Plus de 90 % des UIDND sont équipées d'un système d'abattement des NOx. Ils sont essentiellement de type SNCR et SCR. Ces systèmes utilisent soit de l'urée, soit de l'ammoniac (le plus souvent sous forme dissoute) soit de l'acide cyanhydrique. Cependant, faute d'information, on suppose que la totalité de ces systèmes utilise de l'urée (hypothèse majorante pour les émissions de $CO_2$).

La consommation d'urée est déterminée à partir de la quantité de déchets incinérés dans les UIDND et d'une quantité moyenne d'urée consommée par tonne de déchets incinérés (4 kg/t) [643].

Les facteurs d'émission de $CO_2$ exprimés en kg $CO_2$/t urée sont disponibles dans la base de données OMINEA (déterminé par bilan massique).

**D. Autres utilisations de l'urée**

L'urée est également consommée pour d'autres usages, notamment au niveau industriel. En effet, l'urée est employée pour l'élaboration de matériaux plastiques thermodurcissables (résines urée-formol, etc.), d'adhésifs contenant méthanal et mélamine, etc.

La consommation d'urée pour les autres usages est calculée à partir de l'équation suivante :

Consommation urée autres usages = Production (cf. section spécifique) + Importation [644] - Exportation [644] - Consommation des autres secteurs connus (utilisation d'urée par centrales thermiques, par les véhicules routiers, par les usines d'incinération de déchets non dangereux et par l'agriculture).

Les facteurs d'émission de $CO_2$ exprimés en kg $CO_2$/t urée sont disponibles dans la base de données OMINEA (déterminé par bilan massique).

## 4.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2$^{ème}$ niveau de la catégorie (i.e. 2D).

Les incertitudes associées à cette catégorie sont liées au caractère diffus des émissions et de la multiplicité des composés et secteurs entrant en compte.

Ainsi, l'incertitude concernant l'activité est estimée à 15 % pour le $CO_2$ et 20 % pour le $CH_4$ et le $N_2O$. Concernant les facteurs d'émission, l'incertitude est de 40 % pour le $CO_2$ et 100 % pour le $CH_4$ et le $N_2O$.

Ces incertitudes sont basées sur l'avis des experts sectoriels.

La cohérence temporelle est respectée, les méthodologies utilisées étant appliquées sur toute la période.

## 4.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

## 4.5.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 2D**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 1 027 | 1 031 | 1 096 | 1 085 | 957 | 923 | 869 | 943 | 971 | 874 | 909 | 709 | 785 | 699 | 710 | 1 001 | 1 122 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 1 030 | 1 034 | 1 098 | 1 086 | 958 | 924 | 871 | 942 | 972 | 875 | 911 | 714 | 786 | 751 | 731 | 1 027 | 1 127 | 939 |
| Différence | kt CO2e | +2,9 | +2,5 | +1,8 | +0,67 | +1,1 | +0,94 | +1,2 | -0,60 | +1,4 | +1,4 | +1,7 | +5,0 | +1,2 | +52 | +22 | +26 | +5,0 | +939 |
| | % | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | -0% | +0% | +0% | +0% | +1% | +0% | +7% | +3,05% | +3% | +0% | - |

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

Des recalculs des émissions de $CO_2$ ont été réalisés pour les secteurs suivants.

### 4.5.5.1 Utilisation de lubrifiants (2D1)

**Description des recalculs**

La population (MT, DOM et TOM) ainsi que la consommation de lubrifiants 2 temps (énergétique) ont été mises à jour sur toute la série temporelle.

**Raison et justification**

Amélioration de la cohérence temporelle.

### 4.5.5.2 Utilisation de paraffines (2D2)

**Description des recalculs**

La population (MT, DOM et TOM) a été mise à jour sur toute la série temporelle.

**Raison et justification**

Amélioration de la cohérence temporelle.

### 4.5.5.3 Autres (2D3)

#### 4.5.5.3.1 Utilisation de solvants (2D3-1)

**Description des recalculs**

Pas de recalcul.

**Raison et justification**

Non concerné.

#### 4.5.5.3.2 Autre (2D3-4)

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 438 | 484 | 512 | 548 | 514 | 456 | 466 | 576 | 616 | 500 | 538 | 340 | 408 | 344 | 358 | 632 | 768 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 438 | 484 | 512 | 548 | 514 | 456 | 466 | 574 | 616 | 500 | 538 | 344 | 408 | 384 | 387 | 663 | 792 | 630 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,020 | -0,11 | +0,018 | -1,4 | +0,13 | +0,089 | +0,033 | +3,8 | +0,090 | +40 | +29 | +31 | +24 | +630 |
| | % | 0% | 0% | 0% | 0% | -0% | -0% | +0% | -0% | +0% | +0% | +0% | +1% | +0% | +12% | +8,16% | +5% | +3% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /2.D.3.d

**Description des recalculs**

Les recalculs sont dues d'une part à une meilleure prise en compte des émissions des oxydateurs notamment pour les années 2019 à 2022 et d'autre part à l'ajout des émissions du aux oxydateurs associés à la production de monochlorure de vinyle.

**Raison et justification**

Amélioration de l'exhaustivité et de la précision de l'inventaire.

## 4.5.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration prévue.

# 4.6 Industrie électronique (CRT 2E)

L'industrie des semi-conducteurs utilise des HFC, PFC, $SF_6$ et $NF_3$ lors de la gravure des plaques de silicones et des dépôts en phase gazeuse dans les chambres CVD (Chemical Vapor Deposition). Les gaz fluorés peuvent également être utilisés lors de la fabrication de panneaux photovoltaïques.

## 4.6.1 Caractéristiques de la catégorie

### 4.6.1.1 Fabrication de semi-conducteurs (2E1)

Ce secteur n'est pas une catégorie clé.

Il existe moins d'une dizaine de sites de production de semi-conducteurs en France métropolitaine. A noter que ce secteur est le seul en France à consommer et émettre du $NF_3$.

L'industrie des semi-conducteurs s'est engagée à réduire de 10 % ses émissions en 2010 par rapport à 1995 en optimisant les consommations et en mettant en place des systèmes de traitement. Cet objectif a été atteint, la réduction des émissions exprimées en $CO_2$ équivalent ayant été supérieure à 40 % d'après « European Semiconductor Industry Association » (ESIA).

Différents gaz fluorés sont utilisés : HFC-23, $CF_4$, $C_2F_6$, $C_3F_8$, $C_4F_8$, $SF_6$ et $NF_3$.

### 4.6.1.2 Fabrication d'écrans plats (2E2)

Il n'existe pas en France d'usine de production d'écran plat consommant des gaz fluorés.

### 4.6.1.3 Fabrication de panneaux photovoltaïques (2E3)

Ce secteur n'est pas une catégorie clé.

Une seule usine de production de panneaux photovoltaïques a consommé des PFC ($CF_4$) en France de 1992 à 2011. A partir de 2012 le $CF_4$ a été substitué et n'est plus utilisé.

Les émissions sont rapportées dans le CRT 2E1.

### 4.6.1.4 Fluides de transfert de chaleur (2E4)

Le $C_6F_{14}$ est utilisé comme fluide de transfert de chaleur dans certaines applications commerciales et électroniques.

Ces émissions sont rapportées avec les émissions de solvants et des applications médicales et cosmétiques dans la rubrique 2G2 « *Solvents Medical and other use of PFCs* » de la table CRT *Table2(II)B-Hs2*. Les émissions sont rapportées en $CO_2e$.

## 4.6.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant : https://www.citepa.org/donnees-air-climat/methodologie-de-linventaire-ominea/

### 4.6.2.1 Fabrication de semi-conducteurs (2E1)

La méthode appliquée est de rang GIEC 2a.

Le SITELESC, syndicat regroupant les fabricants de semi-conducteurs, a réalisé annuellement une enquête sur les consommations et les émissions de gaz fluorés des installations jusqu'en 2014 [213]. Depuis 2014, les émissions et données d'activités sont transmises directement par les industriels.

Les facteurs d'émission induits pour chaque type de gaz fluorés sont calculés comme étant le rapport émissions/consommations.

#### 4.6.2.2 Fabrication de panneaux photovoltaïques (2E3)

Les émissions et consommations de $CF_4$ du site de production de panneaux photovoltaïques proviennent des déclarations de l'exploitant de 2007 à 2011 [19]. Les émissions ont été estimées à partir d'un facteur d'émission appliqué aux consommations ne prenant pas en compte l'utilisation de dispositif de destruction ou de capture/récupération des gaz. Les consommations et les émissions pour les années antérieures à 2007 ont été estimées à partir d'informations sur les productions.

#### 4.6.2.3 Fluides de transfert de chaleur (2E4)

Cf. CRT 2G2, chapitre 4.8.1.2.

## 4.6.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 2E).

L'incertitude estimée pour l'activité liée à la catégorie 2E est de 10 %, basée sur l'avis des experts sectoriels.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission dépendent du type de gaz fluorés utilisés et proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 (Vol 3 Chap 6 table 6.9). Elles sont respectivement égales à 100 %, 30 %, 300 % et 70 % pour les HFC, les PFC, le $SF_6$ et le $NF_3$.

## 4.6.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Comme le stipule le processus QA/QC relatif à la fabrication de semi-conducteurs, seules les émissions de gaz fluorés à des fins de productions de semi-conducteurs sont estimées dans cette catégorie (2E1) et distinguées des substances utilisées comme SAO (substances appauvrissant la couche d'ozone).

La France a participé en 2013/2014 à des échanges de revue bilatérale avec l'Allemagne sur l'inventaire des émissions de gaz fluorés. Lors de ces échanges, de multiples questions ont été posées concernant les grands principes de l'inventaire (complétude, cohérence, transparence). Ainsi, les principes d'assurance qualité ont été contrôlés à travers cette revue croisée. À la suite de ces échanges, certaines améliorations et corrections ont pu être effectuées.

Le Citepa contrôle chaque année s'il y a de nouveaux sites de production créés à partir du registre déclaratif français [19].

## 4.6.5 Recalculs

**Description des recalculs**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 280 | 356 | 636 | 405 | 200 | 226 | 145 | 91 | 88 | 74 | 98 | 119 | 95 | 92 | 88 | 80 | 93 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 280 | 356 | 636 | 405 | 200 | 226 | 145 | 91 | 88 | 74 | 98 | 125 | 100 | 98 | 88 | 80 | 87 | 54 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +5,9 | +5,5 | +5,6 | +0,20 | 0 | -6,1 | +54 |
| | % | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | +5% | +6% | +6% | +0,23% | 0% | -7% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /2.E

#### 4.6.5.1 Fabrication de semi-conducteurs (2E1)

**Description des recalculs**

Entre les deux éditions, certaines valeurs ont légèrement été modifiées en 2017, 2018, 2019 et 2022 dû à une mise à jour de la source des informations.

### 4.6.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration prévue.

# 4.7 Consommations d'halocarbures et SF6 (CRT 2F)

Cette section inclut les émissions de HFC liées à l'utilisation de ces substances comme produits à part entière. Les émissions de gaz fluorés se concentrent en grande majorité dans cette section (en comparaison des CRT 2B9, 2E et 2G).

## 4.7.1 Caractéristiques de la catégorie

Les secteurs émetteurs de gaz fluorés sont nombreux. La climatisation/réfrigération est le secteur le plus contributeur aux émissions de gaz fluorés. En 2023 (voir figure ci-dessous) il représente 84 % des émissions totales $CO_2$ équivalentes de gaz fluorés en France métropolitaine. Le secteur des aérosols (techniques et pharmaceutiques) est le deuxième contributeur, pour environ 6 %.

**Figure 101 : Répartition sectorielle des émissions $CO_2$ équivalentes de gaz fluorés en 2023 (France métropolitaine)**

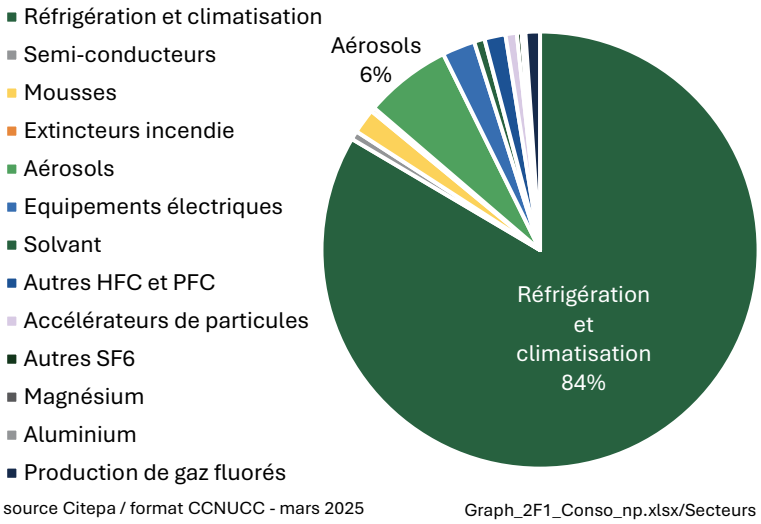
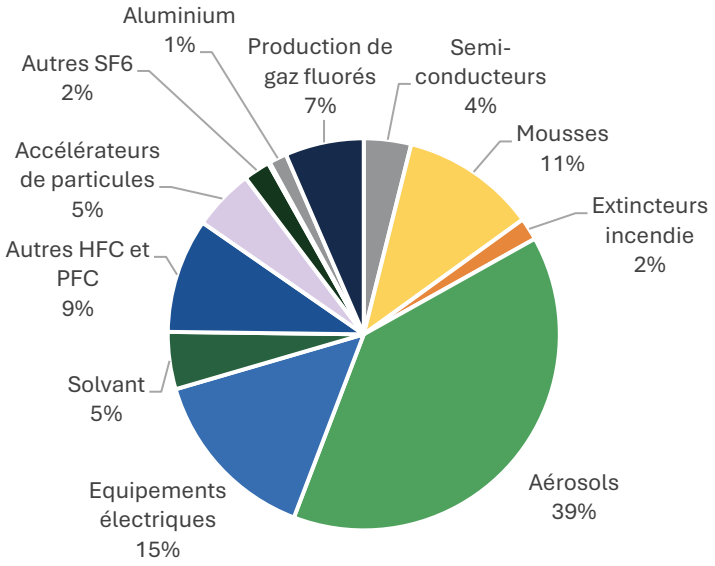
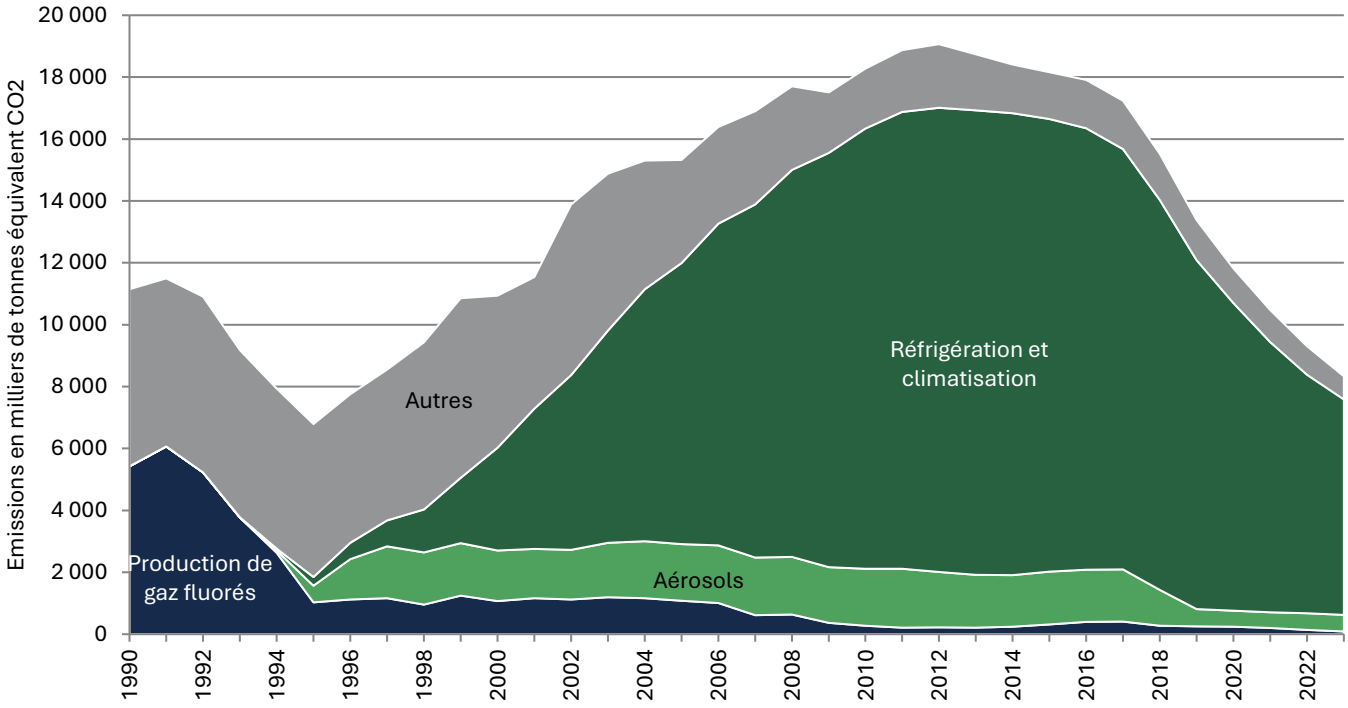



**Figure 102 : Répartition sectorielle des émissions $CO_2$ équivalentes de gaz fluorés en 2023 hors secteur climatisation/réfrigération (France métropolitaine)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 Graph_2F1_Conso_np.xlsx/Secteurs

**Figure 103 : Evolution des émissions de gaz fluorés de 1990 à 2023 (France métropolitaine, en Gg CO2e)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 Graph_2F1_Conso_np.xlsx/Evolution

La figure ci-dessus présente l'évolution des émissions de gaz fluorés par grand secteur. Du fait du remplacement des CFC et HCFC par les HFC, la part du secteur froid et climatisation a été en forte croissance depuis les années 90. Relativement stables de 2012 à 2016 les émissions de ce secteur sont en nette décroissance depuis 2017. Cela s'explique principalement par l'application de réglementations qui ont conduit à l'utilisation de fluides frigorigènes à faible PRG. Les émissions de R-134a du secteur climatisation mobile ont ainsi été fortement réduites du fait du renouvellement progressif du parc automobile vers des systèmes utilisant le HFO-1234yf (PRG = 4, hors inventaire). Le règlement (EU) 517/2014 a mis en place des interdictions d'usage des HFC à fort PRG et une restriction des quantités totales de HFC autorisées à être mises sur le marché européen, ce qui a conduit à l'arrêt de l'utilisation de certains HFCs à fort PRG tels que le R-404A dans les nouvelles installations de réfrigération et à un usage grandissant de fluides frigorigènes à bas PRG dans la plupart des secteurs du froid et de la climatisation. Ce même règlement a imposé l'arrêt d'utilisation du HFC-134a dans les aérosols techniques à partir de 2018, qui a été remplacé en majorité par des hydrocarbures (butane/propane). Les émissions des aérosols ont donc été fortement réduites à cette période.

#### 1.1.1.1 Air conditionné et réfrigération (2F1)

**Tableau 109 : Substances pour lesquelles le secteur 2F1 est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 2F1 | HFC | 11ème | 2,0% | 6ème | 3,7% |

Les HFC sont utilisés comme fluides frigorigènes dans différents types d'équipements de réfrigération et de climatisation. Les émissions de HFC sont estimées dans le cadre d'un inventaire de l'ensemble des fluides frigorigènes en France et, étant donné les statistiques disponibles en France, huit grands secteurs d'équipements sont considérés :

- Les applications domestiques,
- La réfrigération commerciale,
- Les transports frigorifiques,
- Le froid industriel,
- La climatisation fixe,
- Les groupes refroidisseurs à eau,
- Les pompes à chaleur résidentielles,
- Et la climatisation embarquée.

Ces huit grands secteurs sont décomposés en sous-secteurs d'équipements. Quatre sources d'émissions sont considérées :

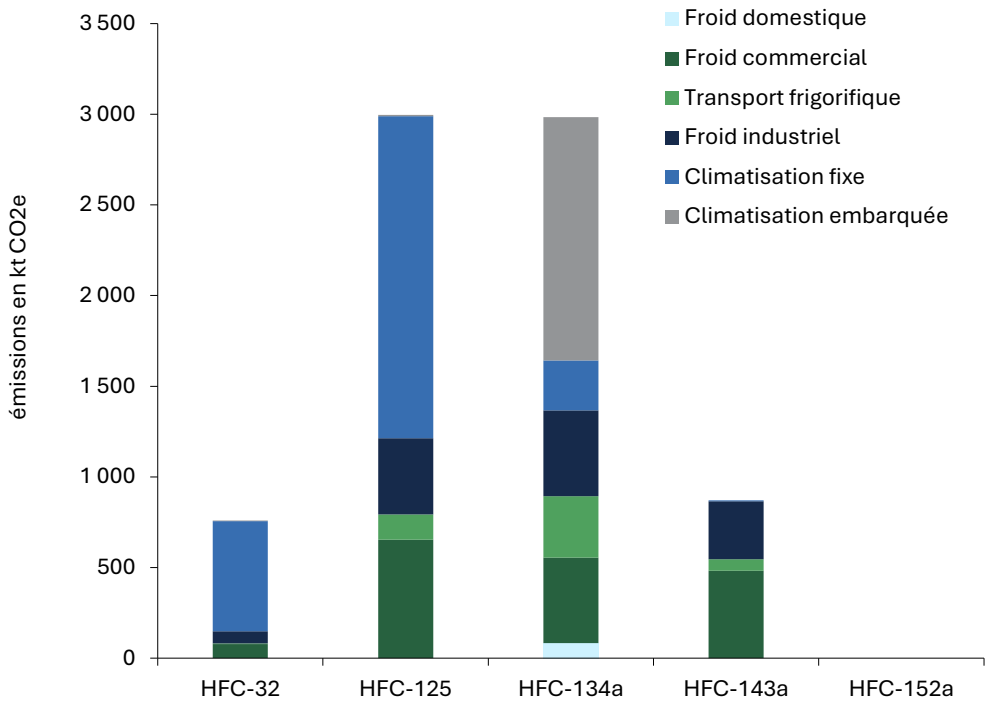
- Les émissions à la charge des équipements,
- Les émissions pendant la durée de vie des équipements (émissions fugitives, lors des opérations de maintenance et de rétrofit),
- Les émissions en fin de vie des équipements, lors de leur démantèlement,
- Les émissions liées à la gestion de conteneurs de fluides frigorigènes utilisés pour la charge ou la maintenance des équipements.

Tous les fluides frigorigènes utilisés par sous-secteur sont pris en compte. Une fois les émissions calculées par fluide d'usage (ou fluides commerciaux), elles sont décomposées par fluide primaire, en fonction de la composition exacte des mélanges (HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, de HFC-152a et de certains HFO, hydrocarbures (HC) ou $CO_2$).

Au cours du temps, plusieurs réfrigérants ont été utilisés dans les équipements de climatisation et réfrigération : les substances appauvrissant la couche d'ozone (CFC et HCFC) ont été progressivement remplacées par les HFC. Certains HFCs ayant des valeurs de PRG élevées, ils sont progressivement remplacés par les HFO (HFC à bas PRG) ou par d'autres fluides frigorigènes non fluorés ayant un plus faible impact sur le climat afin de respecter, notamment, les contraintes induites par la réglementation F-Gas.

Les graphiques suivants détaillent les contributions des secteurs utilisateurs de HFC aux émissions de HFCs primaires de la catégorie 2F1 en 2023.

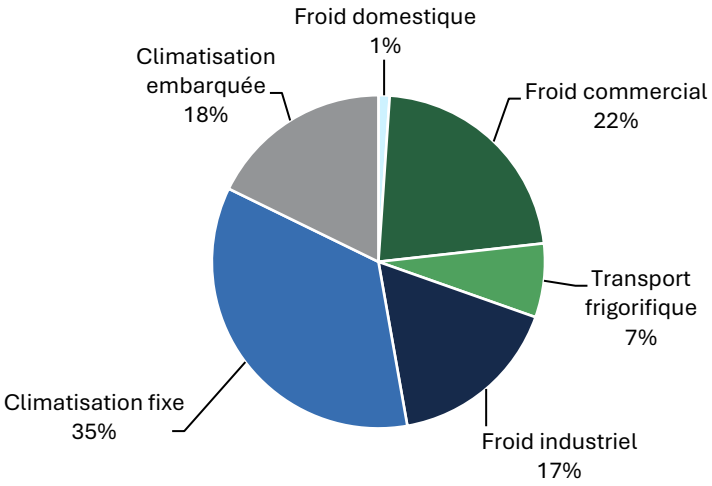
**Figure 104 : Distribution des émissions de HFC en $CO_2$e du CRT 2F1 en 2023 (périmètre France UE)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 analyse_froid&clim.xls/bilan

Par rapport à la dernière édition, la part du froid industriel apparaît plus importante, car certains sous-secteurs de l'industrie agroalimentaire ont été ajoutés cette année. La part du froid commercial est également légèrement en hausse.

**Figure 105 : Contribution des secteurs aux émissions de HFC en $CO_2$e de la catégorie CRT 2F1 en 2023 (périmètre France UE)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 analyse_froid&clim.xls/bilan

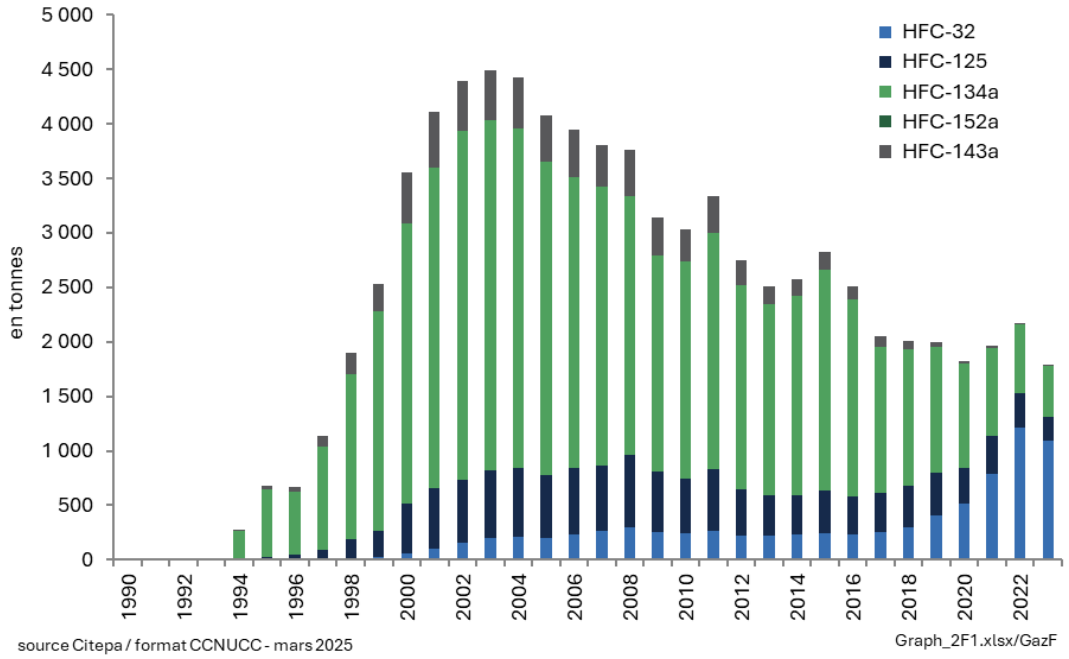
Parmi les fluides frigorigènes utilisés par les secteurs du froid et de la climatisation se trouvent des HFC purs et des mélanges de HFC. Les PRG des principaux mélanges sont les suivants :

**Tableau 110 : Composition et PRG (4ème et 5ème AR) des principaux mélanges de HFCs**

| Mélanges | Composition | | | | | PRG | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HFC-32 | HFC-125 | HFC-134a | HFC-143a | HFC-152a | AR4 | AR5 |
| R-404A | | 44% | 4% | 52% | | 3 922 | 3 943 |
| R-407C | 23% | 25% | 52% | | | 1 774 | 1 624 |
| R-410A | 50% | 50% | | | | 2 088 | 1 924 |
| R-507 | | 50% | | 50% | | 3 985 | 3 985 |
| R-417A | | 46,6% | 50% | | | 2 346 | 2 127 |
| R-422A | | 85% | 11,5% | | | 3 143 | 2 847 |
| R-422D | | 65,1% | 31,5% | | | 2 729 | 2 473 |
| R-427A | 15% | 25% | 50% | 10% | | 2 138 | 2 024 |
| R-407A | 20% | 40% | 40% | | | 2 107 | 1 923 |
| R-407F | 30% | 30% | 40% | | | 1 825 | 1 674 |
| R-448A | 26% | 26% | 21% | | | 1 386 | 1 273 |
| R-450A | | | 42% | | | 601 | 547 |
| R-452A | 11% | 59% | | | | 2 139 | 1 945 |

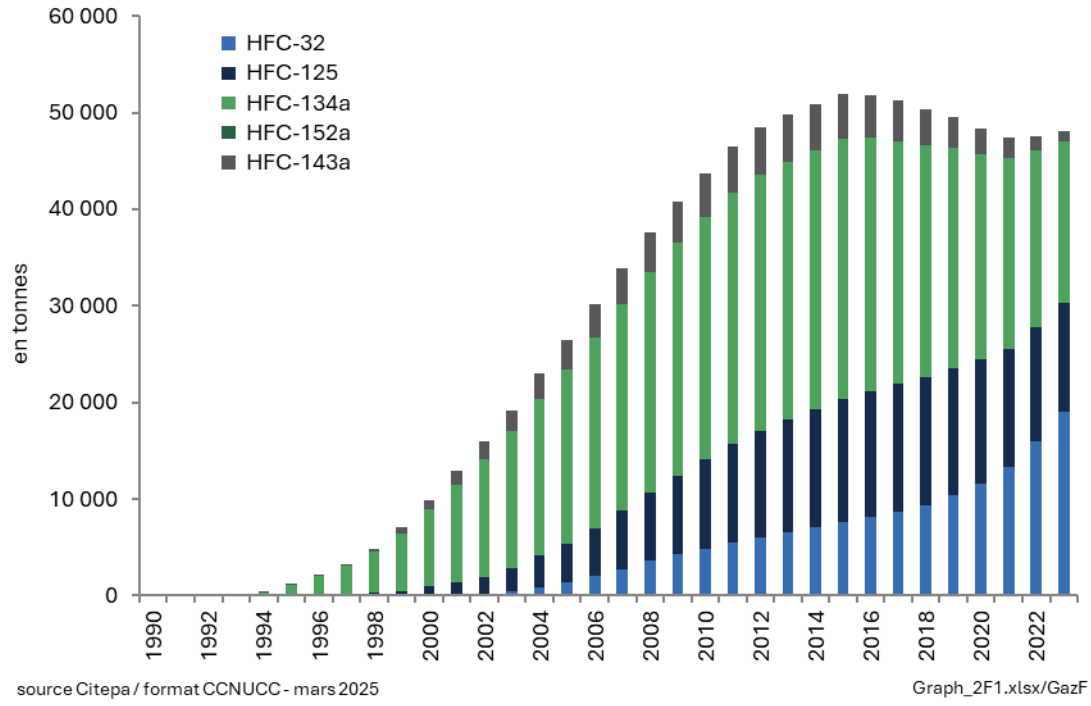
Les graphiques suivants présentent l'évolution des quantités de HFC contenues dans les équipements neufs puis celle de la banque, c'est-à-dire l'évolution des quantités contenues dans les équipements en fonctionnement.

**Figure 106 : Évolution du besoin en HFC pour les équipements neufs (périmètre France UE)**




L'évolution du besoin en HFC pour les équipements neufs pour l'ensemble des secteurs de la réfrigération et de la climatisation a montré une forte augmentation de la demande, jusqu'en 2003, à la suite de l'interdiction progressive des CFC et des HCFC. La tendance décroissante s'explique ensuite par la réduction des charges des équipements avec, notamment, l'introduction des systèmes indirects en froid commercial et industriel et la diminution des charges en climatisation automobile, avant la mise en place de la directive 40/2006. A partir de 2017, la baisse de la demande du HFC-143a s'explique par la diminution du nombre d'installations neuves du froid commercial au R-404A étant donné les interdictions posées par le règlement (EU) 517/2014. La baisse de la demande du HFC-134a est majoritairement due à l'arrêt de l'utilisation du R-134a dans les climatisations mobiles des véhicules neufs particuliers depuis le 1er janvier 2017 (règlement 2006/40/CE). L'augmentation du R-32 provient principalement de l'arrêt de l'utilisation du R-404A au profit de l'utilisation des mélanges à plus bas PRG tels que le R-407A, le R-407F ou le R-448A qui peuvent aussi être utilisés pour le rétrofit des installations du froid et, depuis 2019, par le remplacement progressif du R-410A par le R-32 dans certains équipements de climatisation à air.

**Figure 107 : Évolution de la banque, soit des quantités de gaz contenues dans les équipements en fonctionnement (périmètre France UE)**



La banque de HFC a suivi une progression régulière jusqu'en 2015 du fait du remplacement progressif des CFC puis HCFC par les HFC. Cette banque a ensuite été relativement stable ou légèrement décroissante du fait de la décroissance des charges nominales des équipements et du remplacement progressif du R-134a par le R-1234yf en climatisation automobile, compensant ainsi la croissance du secteur de la climatisation à air. Depuis 2021, la banque est en légère croissance à cause de celle du parc de climatisation à air et pompes à chaleur réversibles. Le HFC-134a était le fluide frigorigène le plus présent dans les installations de réfrigération et de climatisation en fonctionnement, en lien avec les secteurs du froid domestique et surtout de la climatisation automobile. La part du R-32 est, pour la première fois en 2023, plus élevée, en cohérence avec la croissance du secteur PAC et climatisation à air. La banque de HFC-143a poursuit sa forte décroissance car il est principalement utilisé en tant que composant du R-404A, dont la banque décroit depuis 2020 avec les interdictions données par le règlement F-Gas.

#### 1.1.1.2 Mousses isolantes (2F2)

En 2023, ce secteur n'est pas une catégorie clé, ni en niveau d'émission, ni en évolution depuis 1990.

Les HFC se sont substitués aux HCFC au début des années 2000 à la suite de l'interdiction de l'usage de ces derniers. Les applications principales sont les suivantes :

- Chauffe-eau,
- Isolation des bâtiments,
- Transport frigorifique.

Il existe deux familles de mousses : les mousses à alvéoles fermées et les mousses à alvéoles ouvertes. Parmi les mousses à alvéoles fermées, deux types sont considérés : les mousses alvéolaires de type polyuréthane PU (panneau continu ou discontinu, polyuréthane projeté – Spray Polyurethane Foam ou SPF, etc.) et les mousses alvéolaires de type polystyrène extrudé (XPS). En France, deux types de mousses à alvéoles ouvertes ont été ou sont utilisées (les mousses à composant unique OCF et les mousses à peau intégrée PU mises en œuvre notamment dans le secteur automobile pour la production de pièces moulées en polyuréthane telles que les volants ou les boîtes de vitesse).

Différents types de HFC sont utilisés en fonction du secteur d'application et de la famille de mousse. Le tableau suivant récapitule les agents d'expansion par secteur en France, les bâtiments incluant les mousses alvéolaires de type polystyrène extrudé et polyuréthane (SPF et panneau sandwich) :

**Tableau 111 : Utilisation des types de HFC selon le secteur d'application**

| Agent d'expansion | Chauffe-eau | Bâtiment | Transport frigorifique | OCF | Automobile | Production de systèmes polyuréthane |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HFC-134a | | x | | x | | x |
| HFC-227ea | | x | x | | x | x |
| HFC-365mfc | | x | x | | x | x |
| HFC-152a | | x | | | | |
| HFC-245fa | x | x | x | | | x |
| HC | x | x | x | x | x | |
| HFO-1233zd | | | | | | x |
| HFO-1234ze | x | x | | | | |
| HFO-1336mzz | | | | | | x |
| $CO_2$ | | x | | | | |

Depuis 2009, il n'y a plus d'émission de HFC associée aux mousses OCF après l'interdiction de mise sur le marché des HFC dans ce type d'application par le règlement n° 842/2006/CE relatif aux gaz fluorés.

Les émissions de HFC ont lieu lors de la fabrication, pendant la durée de vie des équipements et en fin de vie. Les émissions en fin de vie sont apparues depuis 2015 dans le secteur des chauffe-eaux.

Les émissions de HFC des formulateurs de systèmes polyuréthane sont également prises en compte.

Des HFC à très bas PRG (HFO), appelés fluides de 4ème génération, sont utilisés depuis peu dans ce secteur en remplacement des HFC. Les ventes de HFC à fort PRG (HFC-245fa et mélange HFC-365mfc/HFC-227ea) utilisés dans les applications autres que les mousses en polystyrène extrudé (XPS) sont en baisse depuis 2018, du fait de la prochaine interdiction de mise sur le marché en 2023 des mousses contenant des HFC dont le PRG est supérieur ou égal à 150 par la réglementation F-gas n° 517/2014. De même, l'interdiction de mise sur le marché de mousses en polystyrène extrudé utilisant des HFC de PRG supérieur ou égal à 150 depuis le 1er janvier 2020 explique l'arrêt de l'utilisation du HFC-134a dans cette application en France depuis 2018.

Il est considéré qu'il n'y a pas de HFC utilisés dans les territoires d'Outre-mer pour ces secteurs.

#### 1.1.1.3 Extincteurs (2F3)

Ce secteur n'est pas une catégorie clé en 2023, ni en niveau d'émission, ni en évolution depuis 1990.

Les HFC sont utilisés depuis le milieu des années 1990 en remplacement des CFC et HCFC qui ont été interdits. Deux types de HFC sont consommés : le HFC-227ea en très grande majorité et le HFC-23. Les quantités de HFC vendues dans cette application sont en diminution depuis le milieu des années 2000. Trois sources d'émissions sont à considérer :

- Les émissions à la production correspondant aux pertes à la charge de l'extincteur,
- Les émissions pendant la durée de vie comprenant les émissions sur feux et les émissions intempestives,
- Les émissions en fin de vie des équipements tenant compte du recyclage.

#### 1.1.1.4 Aérosols (2F4)

Ce secteur n'est pas une catégorie clé en 2023, ni en niveau d'émission, ni en évolution depuis 1990.

Deux catégories d'aérosols propulsés aux HFC sont distinguées :

- Les aérosols dits « techniques » : cette catégorie comprend diverses applications singulières où, pour des raisons techniques et de sécurité, les HFC sont utilisés dans les aérosols. Il s'agit par exemple des dépoussiérants informatiques, insecticides, graisses, etc…
- Les aérosols pharmaceutiques (MDI – Metered Dose Inhaler).

Les HFC ont remplacé, dans le milieu des années 1990, les CFC utilisés avant leur interdiction. Les HFC utilisés sont le HFC-134a et HFC-152a pour les aérosols techniques et le HFC-134a et HFC-227ea pour les aérosols pharmaceutiques.

Trois sources d'émissions potentielles sont à considérer :

- Les émissions à la charge en usine lors du conditionnement. Il existe en France un grand nombre de petits producteurs et conditionneurs pour les aérosols techniques et peu de sites producteurs de MDI,
- Les émissions à l'usage,
- Les émissions en fin de vie.

#### 1.1.1.5 Solvants (2F5)

En 2023, ce secteur n'est pas une catégorie clé, ni en niveau d'émission, ni en évolution depuis 1990.

Les solvants fluorés sont utilisés dans les applications suivantes :

- Construction aéronautique,
- Assemblage électronique,
- Fabrication de matériel médical, etc.

Les HFC ont remplacé, dans le début des années 1990, les HCFC utilisés avant leur interdiction. Les HFC utilisés sont le HFC-4310mee, HFC-365mfc et, à degré bien moindre, le HFC-245fa. Un PFC, le $C_6F_{14}$, est également utilisé pour dissoudre les huiles et graisses fluorées.

Pour des raisons de confidentialité, les émissions de HFC des solvants sont rapportées en $CO_2e$ avec les émissions de HFC-134a des fonderies de magnésium et les émissions de HFC-134a issues de la fabrication de caoutchouc synthétique dans la rubrique 2F5 « *Unspecified mix of HFCs* » de la table CRT *Table2(II)B-Hs2*.

De même, les émissions de $C_6F_{14}$ des solvants sont rapportées en $CO_2e$ avec les émissions des applications médicales et cosmétiques, des fluides de transfert de chaleur et autres applications techniques dans la rubrique 2G2 « *Solvents Medical and other use of PFCs* » de la table CRT *Table2(II)B-Hs2*.

Il est considéré qu'il n'y a pas de HFC utilisés dans les territoires d'Outre-mer.

#### 1.1.1.6 Autres applications (2F6)

En 2023, ce secteur n'est pas une catégorie clé, ni en niveau d'émission, ni en évolution depuis 1990.

Les HFC peuvent être utilisés comme diluant lors de la production de certains produits chimiques, et notamment de caoutchouc synthétique. Il existe 4 sites de production de caoutchouc synthétique en France mais un seul a utilisé des HFC jusqu'en 2015, du HFC-134a.

Pour des raisons de confidentialité, les émissions de HFC de cette application sont rapportées en $CO_2e$ avec les émissions de HFC-134a des fonderies de magnésium et les émissions des solvants dans la rubrique 2F5 « *Unspecified mix of HFCs* » de la table CRT *Table2(II)B-Hs2*.

## 4.7.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/donnees-air-climat/methodologie-de-linventaire-ominea/

#### 1.1.1.7 https://www.citepa.org/methodologie-de-linventaire-ominea/Air conditionné et réfrigération (2F1)

La méthode de calcul des émissions de HFC développée par le Citepa est basée sur les recommandations du GIEC, les améliorations apportées par les CES de MINES-ParisTech [207] et des travaux de thèse tels que [1153].

*Rappel des principes de l'Approche de niveau 2a*

Dans le cas des réfrigérants, si les informations nécessaires sont disponibles (données par sous-application et facteurs d'émission spécifiques), les lignes directrices du GIEC recommandent d'utiliser, pour la réalisation des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre, une approche de Niveau 2a, approche détaillée par facteur d'émission. Cette méthode reconstitue la banque[26] de fluides frigorigènes par application, elle est dite « bottom-up », utilisant les données sur les marchés d'équipements, charges moyennes, fluides utilisés, durée de vie moyenne pour reconstituer le stock contenu dans les équipements puis calculer les émissions.

[26] La banque de fluides frigorigènes correspond aux quantités de fluides frigorigènes contenues dans les équipements formant le parc d'installations.

**Aperçu des lignes directrices**

La méthodologie de Niveau 2a :

Prend en compte l'élimination ou la diminution progressive des CFC et des HCFC dans le calendrier du Protocole de Montréal ou dans les régulations nationales ou régionales, afin d'établir le choix fluide frigorigène pour toutes les applications ;

Définit la charge générale de fluide frigorigène et la durée de vie de l'équipement par sous application ;

Définit les facteurs d'émission pour la charge de fluide frigorigène, pendant le fonctionnement, la maintenance et la fin de vie.

Pour calculer les émissions au cours de la durée de vie de l'équipement, il est nécessaire de dériver le stock total de l'équipement indépendamment de leur année. En faisant cela, la banque de réfrigération est établie par sous application.

Afin d'obtenir une cohérence, il est suggéré de calculer le marché annuel des fluides frigorigènes à partir des quantités de fluides frigorigènes chargés dans l'équipement neuf et des quantités de fluides frigorigènes utilisés pour la maintenance du stock total d'équipements.

Pour prendre en compte toutes les émissions de fluides frigorigènes au cours de la vie des équipements, il est alors recommandé de tenir compte :

- des émissions à la charge des équipements (E_charge) ;
- des émissions au cours de la durée de vie des équipements, issues des banques de fluides frigorigènes, pendant le fonctionnement et lors la maintenance des équipements, incluant les pertes accidentelles (E_duree-de-vie) ;
- des émissions de fin de vie, lors de la mise au rebut de l'équipement (E_fin-de-vie) ;
- des émissions liées à la gestion des conteneurs de fluides frigorigènes, notamment aux talons de charge résiduels (E_conteneurs).

Les lignes directrices ne mentionnent pas les émissions liées aux rétrofits[27] d'installations, qui peuvent être incluses dans les émissions au cours de la durée de vie.

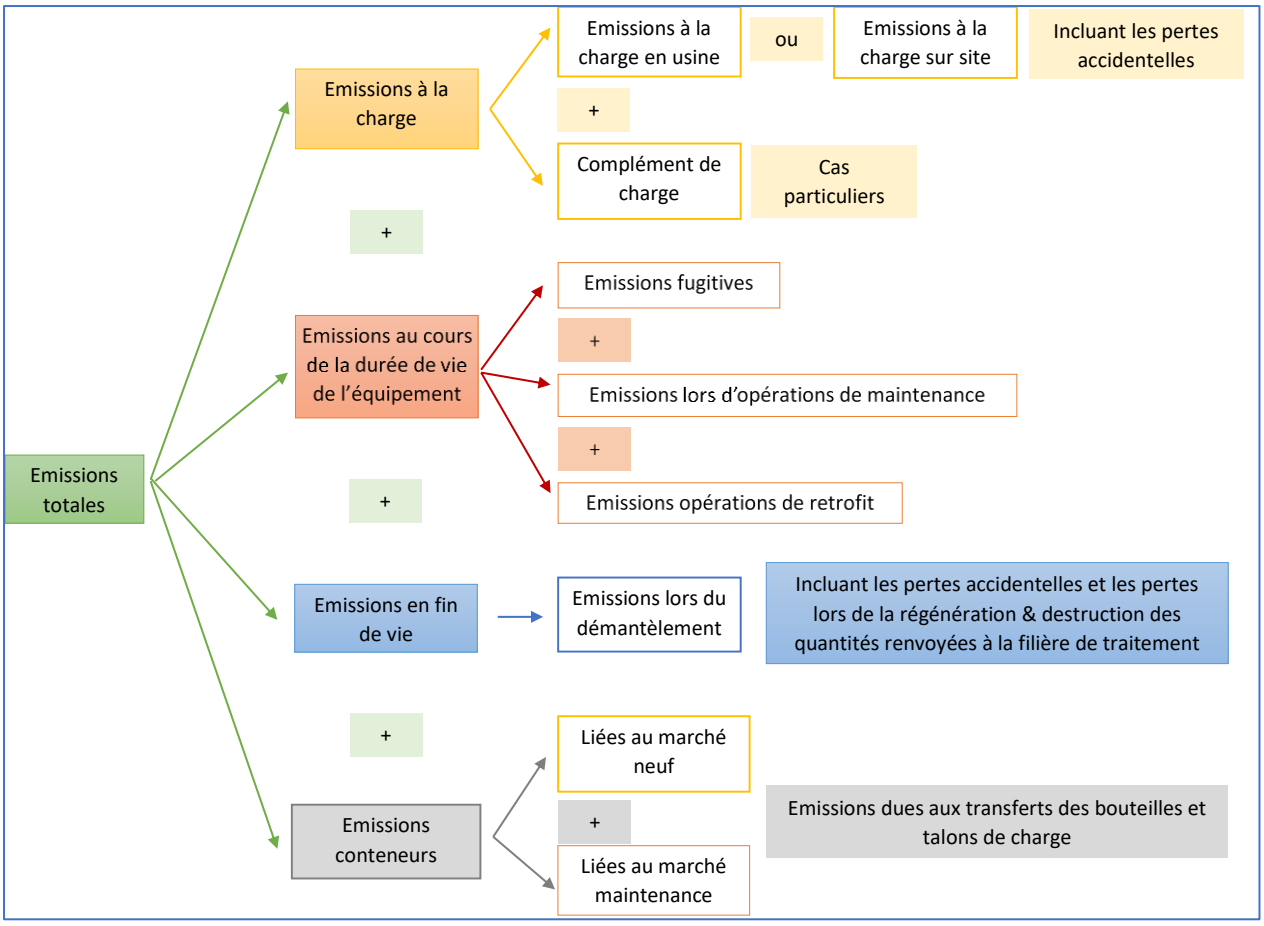
Dans l'approche Tier2a, les facteurs d'émission sont appliqués aux données d'activité. Leur estimation peut se faire de différentes façons, selon les données disponibles et être spécifiques. Le GIEC met à disposition des gammes de facteurs d'émission.

*Mise en œuvre de l'approche de niveau 2a*

La figure suivante présente la méthode de calcul mise en œuvre, à partir des recommandations du GIEC. Toutes les émissions au cours de la vie de l'équipement sont prises en compte. Les émissions sont calculées à partir :

- de paramètres permettant d'évaluer les données d'activité : statistiques de parc, marchés ou productions d'équipements, fluides frigorigènes utilisés, caractéristiques techniques (puissance frigorifiques, ratios de charge, etc.) ;
- et de facteurs d'émission. Le plus souvent, les facteurs d'émission sont établis par enquête de terrain auprès de fabricants de matériels, de personnels chargés de la maintenance des installations, par consultation des quantités consommées pour la maintenance des équipements ou basés sur des avis d'experts. Les hypothèses retenues ont été comparées aux gammes de variations sectorielles fournies par les rapports du GIEC.

[27] Un rétrofit est une conversion d'un équipement utilisant un fluide frigorigène vers un autre fluide frigorigène, pour des raisons essentiellement liées à la réglementation.




L'approche prend en compte les différents types d'émissions en fonction de la réalité du terrain : lieux de charges, types d'opérations se produisant au cours de la vie des équipements, mise en œuvre des obligations réglementaires, efficacité des filières de fin de vie.

*Emissions à la charge*

Les émissions à la charge correspondent aux pertes lors de la manipulation du fluide frigorigène au moment de la charge de l'équipement. Les lignes directrices recommandent de les calculer relativement aux **quantités de fluides frigorigènes chargées dans les équipements neufs et d'un facteur d'émission par sous-secteur**.

**EQUATION 7.12**
**SOURCES OF EMISSIONS WHEN CHARGING NEW EQUIPMENT**

$$E_{charge,t} = M_t \bullet \frac{k}{100}$$

Where:

$E_{charge,t}$ = emissions during system manufacture/assembly in year $t$, kg

$M_t$ = amount of HFC charged into new equipment in year $t$ (per sub-application), kg

k = emission factor of assembly losses of the HFC charged into new equipment (per sub-application), percent

**Figure 108 : Equation du calcul des émissions de HFC à la charge (source : IPCC 2006)**

Etant donné que celles-ci dépendent des lieux de charge des équipements, il est considéré que :

- Si les équipements sont chargés en usine (ex : climatiseur de type split), les émissions à la charge sont liées aux quantités d'équipements produites. La donnée d'activité (*Charge-produite*) est alors fonction de la production nationale d'équipements, de la charge moyenne et des fluides frigorigènes utilisés.
- Si les équipements sont chargés au moment de leur installation (ex : supermarché), soit « chargés sur site », les émissions à la charge sont liées aux quantités d'équipements installés, soit mis sur le marché. La donnée d'activité

(*charge-mise-sur-le-marché*) est alors fonction du marché national d'équipements, de la charge moyenne et des fluides frigorigènes utilisés.

- Dans certains cas particuliers, les équipements sont chargés d'usine et un complément de charge a lieu au moment de l'installation.

Le facteur d'émission (*EF_charge*) est supposé plus faible pour les équipements chargés d'usine que pour les équipements chargés sur site pour lesquels une intervention manuelle est nécessaire.

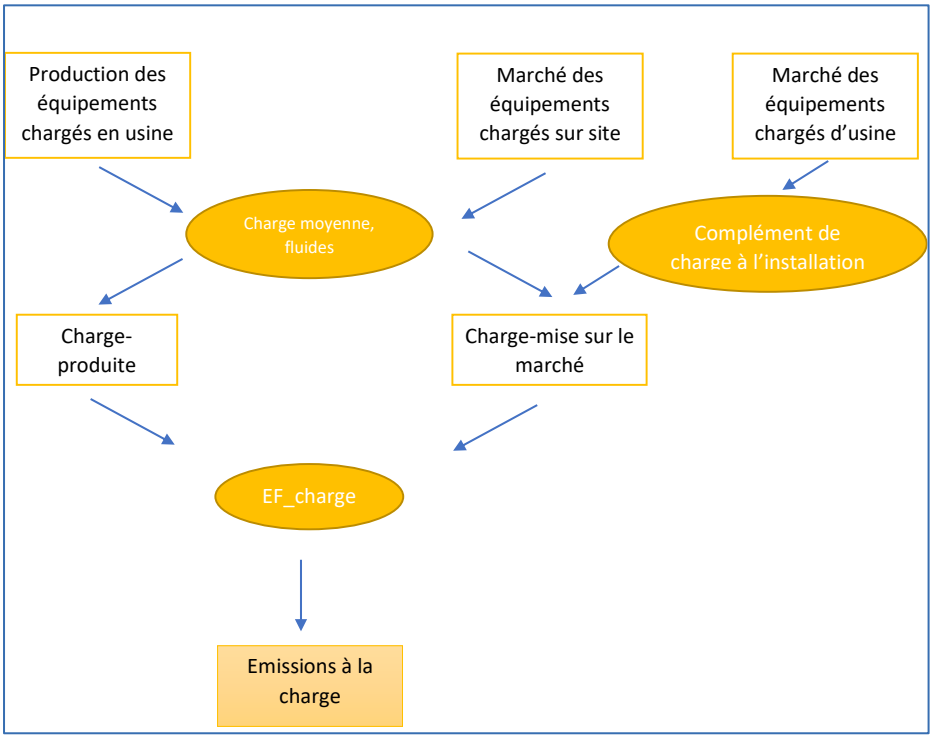



**Figure 109 : Schéma de la méthodologie d'estimation des émissions à la charge (2F1)**

Le modèle de calcul prend en compte ces trois possibilités : pour chaque sous-secteur doit être précisé, dans un tableau des modes de charge, le lieu de charge et la part du complément de charge rapportée à la charge initiale, le cas échéant. La charge de réfrigérant dans les équipements constitue notamment une donnée essentielle car elle impacte à la fois les quantités mises sur le marché et les quantités totales de réfrigérants présents dans le parc français (banque).

$E_charge(i,j) = EF_charge(i) * [A_k * Charge_{produite}(i,j) + [(1-A_k)+A_k*B_k] * Charge_{mise\text{-}sur\text{-}marché}(i,j)]$ *(2.2F1)*

Avec :

EF_charge: Facteur d'Emission à la charge

$Charge_{produite}(l,j) = Equipment_production(i) * Refrigerant_production_share(i,j) * Average_charge(i,j)$ *(3.2F1)*

$Charge_{mise\text{-}sur\text{-}marché}(i,j,k) = Equipment_market(i,k) * Refrigerant_market_share(i,j,k) * Average_charge(l,j,k)$ *(4.2F1)*

i : année, j : fluide frigorigène, k : sous-secteur

Equipment_Refrigerant_market/production_share : part des fluides frigorigènes utilisés sur le marché/en production

Equipment_production/market : nombre d'équipements produits/mis sur le marché par an et sous-secteur

Average_charge : charge nominale moyenne équipements d'un sous-secteur mis sur le marché ou produits l'année i

Les données d'activité *charge_produite* et *charge_marché* sont obtenues à partir de données statistiques sur respectivement les productions (*Equipment_production*) et marchés d'équipements -*Equipment_market*), les parts des différents fluides frigorigènes utilisés par le sous-secteur (*Refrigerant_production_share*) et la charge moyenne (*Average_charge*) des équipements ; celle-ci peut être obtenue de différentes façons, le plus souvent à partir d'un ratio de charge (kg/kW) pouvant lui-même dépendre du fluide frigorigène utilisé et d'une puissance frigorifique moyenne. Les lieux de charge sont définis, par sous-secteur, tel que dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 112 : Lieu de charge des équipements**

| Nom du sous-secteur k | Chargé en usine $A_k$ | Complément de charge sur site (En %) : ne concerne que les équipements chargés d'usine. $B_k$ |
|---|---|---|
| | Oui = 1 (charge usine)<br>Non = 0 (charge sur site) | 0 pas de complément<br>X% => le complément de charge correspond à X% de la charge initiale |

#### 4.7.2.1.1 Emissions au cours de la durée de vie

La formule donnée par les lignes directrices pour les émissions de durée de vie englobe à la fois les émissions fugitives et les émissions liées à la maintenance, sans considérer les cas de rétrofits d'installation. Il est recommandé de calculer la banque de réfrigérants correspondant à l'ensemble des installations d'un sous-secteur.

**EQUATION 7.13**
**SOURCES OF EMISSIONS DURING EQUIPMENT LIFETIME**

$$E_{lifetime,\,t} = B_t \bullet \frac{x}{100}$$

Where:

$E_{lifetime,\,t}$ = amount of HFC emitted during system operation in year *t*, kg

$B_t$ = amount of HFC banked in existing systems in year *t* (per sub-application), kg

x = annual emission rate (i.e., emission factor) of HFC of each sub-application bank during operation, accounting for average annual leakage and average annual emissions during servicing, percent

In calculating the refrigerant bank ($B_t$) all systems in operation in the country (produced domestically and imported) have to be considered on a sub-application by sub-application basis.

**Figure 2F1- 1 - Emissions au cours de la durée de vie selon *(GIEC, 2006)***

La banque correspond aux quantités de fluides frigorigènes présentes, une année donnée, dans les équipements formant le parc d'installations. Elle va donc dépendre des quantités d'équipements présentes et de la quantité de fluide contenue dans chaque équipement, la charge. Afin de calculer la banque de façon la plus réaliste possible, il a été choisi de calculer les charges réelles des équipements et de prendre en compte une courbe de survie, traduisant la part des équipements d'un millésime donné présente sur le parc une année donnée.

a) Calcul de la charge réelle

Au cours de sa durée de vie, la charge d'un équipement varie par rapport à sa charge nominale, en fonction de son taux d'émissions fugitives, de ses occurrences de maintenance et recharges et des éventuels rétrofits qu'il subit. Les occurrences de maintenance sont calculées à partir de l'hypothèse d'un seuil de maintenance (excepté pour les équipements dont la maintenance se fait de façon annuelle) : ce seuil définit la part de la charge perdue à partir de laquelle il est nécessaire de faire une maintenance pour recharger l'équipement. En dehors de ces occurrences, la charge décroît chaque année (i) en fonction du taux d'émissions fugitives de l'équipement (EF_fug), celui-ci étant caractéristique d'un millésime (L) donné (5.2F1).

**Charge_réelle(i,L) =(1-(i-L))EF_fug(L)/100*charge_market(L) (5.2F1)**

Le complément de charge correspond à l'écart entre la charge initiale (charge_market) et la charge réelle pour l'année de l'occurrence de maintenance.

b) Calcul de la banque

La « banque » de fluides frigorigènes est constituée des quantités des différents fluides frigorigènes stockées dans les équipements installés sur le sol français. Elle est calculée par le cumul, sur la durée de vie de l'équipement, des quantités annuelles de fluides contenus dans les équipements mis sur le marché français et de leur charge moyenne. Afin de tenir compte d'une évolution plus réaliste de la banque, par application, le modèle de la courbe de durée de vie développé dans la thèse de S.Saba [1153] est utilisé. Pour chaque sous-secteur d'équipement, il est ainsi considéré une « courbe de durée

de vie » construite en fonction de la donnée d'une durée de vie moyenne et donnant, pour un millésime mis sur le marché une année L, la part des équipements de ce millésime restant sur le parc d'installations l'année i (*% survie*). La durée de vie moyenne (DDV) est donnée par hypothèse. Pour ces inventaires, il est supposé que la durée de vie maximum est d'un tiers supérieure à la durée de vie moyenne et que chaque millésime « s'éteint » suivant un rythme tel que présenté sur la figure suivante.

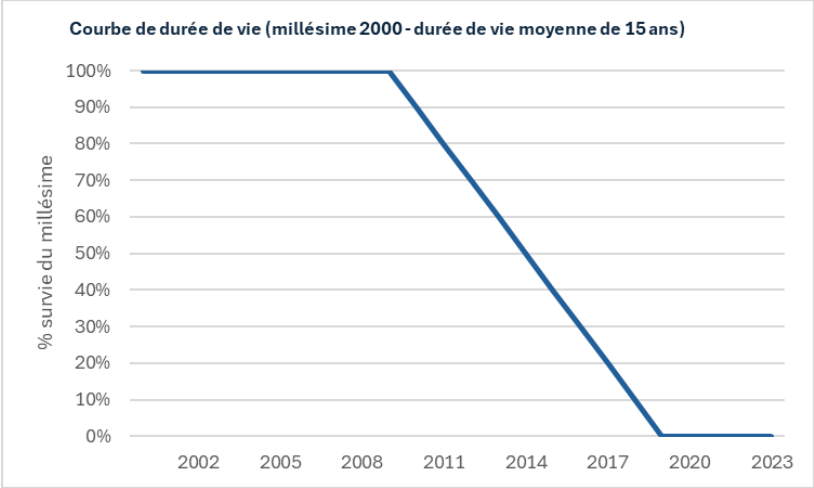



**Figure 2F1- 2 – Exemple de courbe de durée de vie**

La banque est alors calculée, pour chaque sous-secteur, à partir des quantités mises sur le marché (charge$_{\text{mise-sur-marché}}$ équation *4.2F1*) soit, des données de marchés d'équipements, de la charge nominale moyenne, ou d'un ratio de charge au cours du temps, et de la durée de vie de l'équipement.

$$\boldsymbol{banque}\ (i,j) = \sum_{L=i-DDVmax+1}^{i} \mathbf{Part_Restante(L,i)} * \mathbf{charge_{marché(L,j)}} \qquad \textbf{(5.2F1)}$$

$$\boldsymbol{banque}\ (i,j) = \sum_{L=i-DDVmax+1}^{i} \mathbf{Part_Restante(L,i)} * \mathbf{charge_{reelle(L,j)}} \qquad \textbf{(5bis.2F1)}$$

Où L=millésime (ou année de mise sur le marché) d'un équipement

DDVmax = Durée de vie maximale atteinte par un équipement d'un millésime donné

Charge$_{\text{marché}}$ est définie par ***(4.2F1)***

Part_restante : part du millésime L d'équipement encore présent sur le parc d'installations l'année i

Une banque réelle, distincte de la banque théorique, peut également être calculée, en fonction de la charge_réelle, afin de prendre les quantités restant dans les équipements l'année i donnée.

Comme il avait déjà été identifié dans les précédentes éditions d'inventaires, les émissions pendant la durée de vie peuvent être décomposées en émissions fugitives, qui sont liées à la banque précédemment calculée, les émissions au cours des opérations de maintenance (lorsque celle-ci peut être distinguée) et lors d'éventuels rétrofits des équipements.

**E_duree-de-vie = Emiss_fugitive + Emiss_servicing + Emiss_retrofit** ***(6.2F1)***

c) Emissions fugitives

Le calcul des émissions fugitives nécessite d'évaluer un taux d'émissions rapporté à la banque (Figure 2F1-1). Pour certains sous-secteurs d'équipements, tels que les supermarchés par exemple, ce taux d'émission peut être estimé directement, connaissant les consommations de fluides frigorigènes utilisées pour la maintenance des installations sur un échantillon significatif. Dans d'autres cas, les taux d'émissions sont caractéristiques des équipements neufs, évoluent avec les millésimes en fonction du progrès technologique. Un taux d'émission fugitive moyen est alors calculé sur le parc en tenant compte des taux d'émissions caractérisant chaque millésime et de la composition du parc, dépendant de la courbe de survie du sous-secteur. Afin d'améliorer la prise en compte des émissions fugitives et de ne pas les surestimer, le calcul se base désormais sur la banque réelle, tenant compte des charges réelles restant dans les équipements l'année en cours.

**Emiss_fugitive (i,j,k) =** $\overline{EF_{fugitive_{bank}}(i,k)}$ **] * Bank_reelle (i,j,k)** **(7.2F1)**

d) Prise en compte de la fréquence de maintenance

La maintenance est prise en compte de façon détaillée dans le calcul. Afin d'évaluer les occurrences de maintenance, il est pris en compte une charge réelle (5.2F1), correspondant à l'évolution de la charge de l'équipement au cours du temps. Celle-ci se trouve réduite des pertes fugitives annuelles jusqu'à l'atteinte d'un certain seuil pour lequel l'équipement doit subir une opération de maintenance et un complément de charge lui permettant de retrouver sa charge nominale. Les années où la maintenance a lieu (occurrences de maintenance), des émissions lors des opérations de maintenance sont considérées : elles sont évaluées en tenant compte d'un facteur d'émission à la recharge (EF_recharge) de l'installation et des quantités rechargées, soit le complément de charge.

Dans le cas où le taux d'émission fugitive est rapporté au parc et correspond aux quantités consommées pour la maintenance, on considère une maintenance annuelle, sans décharge de l'installation et les émissions à la maintenance sont supposées incluses dans les émissions fugitives pour les installations dont la maintenance est annuelle car les quantités consignées dans les rapports d'entretien correspondent aux quantités consommées par l'opérateur au moment de la maintenance, incluant les quantités rechargées et les pertes.

$Emiss_{maint(i,j,k)} = (1 - C(k)) * EF_{recharge(i,k)} * \mathbf{Complement_{Charge(i,j,k)}}$ **+ C(k) * EF_recharge$_{(i,k)}$*Emiss_fugitive$_{(i,j,k)}$** **(8.2F1)**

C(k) = 0 si la maintenance est annuelle, 1 sinon
Le complément de charge étant non nul que si i = occurrence de maintenance
EF_recharge = Facteur d'émission à la recharge de l'installation maintenue
Emiss_fugitive donnée par (7.2F1)

Il est considéré qu'actuellement il n'y a plus de cas où l'équipement est déchargé lors de sa maintenance.

e) Emissions liées au rétrofit d'une installation

Les rétrofits d'installations sont pris en compte en considérant que durant la période précédent une interdiction, les installations qui ne parviennent pas en fin de vie sont en partie converties vers un autre fluide frigorigène (fluides de transition). Les hypothèses sont simplifiées et il est considéré qu'un rétrofit prolonge en moyenne de 10 ans la durée de vie de l'installation. Une courbe de survie est appliquée aux équipements rétrofités, basée sur une durée de vie moyenne de 10 ans. Des tables de rétrofit définissent les tendances, par secteur et par an, de conversion des installations d'un fluide vers un autre. De même façon que pour la charge_marché sont définies une charge_retrofit et une charge_reelle_retrofit, prises en compte dans le calcul de la banque réelle (5.2F1, 5bis.2F1). Les émissions associées aux rétrofits sont alors de deux types : une fin de vie de l'équipement initial, une charge de l'équipement converti. Les facteurs d'émission sont de même type que ceux considérés à la recharge et en fin de vie des équipements.

$Charge_{retrofit}(i,j,k) = \sum_{Jret} \mathbf{Retrofit(Jret,j,i)/100} * \mathbf{Bank_reelle(i-1,Jret,k)}$ **(9.2F1)**

$Banque_{retrofitee}(i,Jret,k) = (100\% - \frac{\mathbf{Retrofit(Jret,jret,i)}}{100}) * \mathbf{Bank_reelle(i-1,Jret,k)}$ **(10.2F1)**

***Emiss_retrofit (i,Jret,k)* = EF$_{_decharge(i,k)}$ * Banque_retrofitee (i,Jret,k)** **(11.2F1)**

***Emiss_retrofit (i,j,k)* = EF$_{_recharge(i,k)}$ * charge_retrofit(i,j,k)** **(12.2F1)**

Jret correspond au fluide vers lequel le retrofit est fait, j étant le fluide frigorigène d'origine.
Retrofit(J1,J2,i) est la table donnant pour la part de la banque de fluide J1 convertie vers le fluide J2 l'année i, pour chaque sous-secteur k.
EF_decharge = facteur d'émission lors de la décharge de l'installation
EF_recharge = facteur d'émission lors de la recharge de l'installation avec le nouveau fluide frigorigène

*Emissions en fin de vie*

Les émissions en fin de vie, au moment du démantèlement de l'équipement, vont dépendre dans certains cas de l'existence et de la performance de la filière de traitement et, dans d'autres cas, de la qualité de l'intervention sur site pour décharger l'équipement de son fluide frigorigène et le transférer aux usines de destruction ou de régénération.

**EQUATION 7.14**
**EMISSIONS AT SYSTEM END-OF-LIFE**

$$E_{end-of-life,\,t} = M_{t-d} \bullet \frac{p}{100} \bullet \left(1 - \frac{\eta_{rec,\,d}}{100}\right)$$

Where:

$E_{end\text{-}of\text{-}life,\,t}$ = amount of HFC emitted at system disposal in year *t*, kg

$M_{t\text{-}d}$ = amount of HFC initially charged into new systems installed in year (*t-d*), kg

p = residual charge of HFC in equipment being disposed of expressed in percentage of full charge, percent

$\eta_{rec,d}$ = recovery efficiency at disposal, which is the ratio of recovered HFC referred to the HFC contained in the system, percent

**Figure 2F1- 3 - Emissions de fin de vie selon *(GIEC, 2006)***

La prise en compte de la charge réelle de l'équipement au cours de sa durée de vie permet également d'évaluer plus précisément la charge résiduelle de l'équipement arrivant en fin de vie, tenant compte des émissions fugitives et occurrences de maintenance et de limiter ainsi les double-comptes entre les émissions fin de vie et les émissions fugitives. Les quantités parvenant en fin de vie peuvent s'exprimer ainsi :

$$\mathbf{E_{fin_de_vie}} = \sum_{L=i-DDVmax+1}^{i} \left(\mathbf{Part_{Restante(L,i-1)}} - \mathbf{Part_Restante(L,i)}\right) * \mathbf{charge_{reelle(L,j,k)}} * \boldsymbol{EF_fin_de_vie(i,k)} \qquad \textbf{(13.2F1)}$$

Où Part_restante(L,i-1) - Part_Restante(L,i) donne la part du millésime L parvenant en fin de vie l'année i

EF_fin_de_vie = facteur d'émission en fin de vie de l'équipement = 100%-efficacité de la filière de récupération

Cette formule est appliquée de même façon pour le calcul des quantités rétrofitées parvenant en fin de vie.

*Emissions conteneurs*

Ce sont les émissions liées à la manipulation des conteneurs et le transfert de fluides frigorigènes utilisés pour fournir le marché. Afin de les évaluer, il est nécessaire de connaître le besoin en fluides frigorigènes pour la production et la charge d'équipements neufs ainsi que pour la maintenance du parc et le rétrofit des installations. A ce besoin doivent être ajoutés les talons de charge correspondant aux quantités restant dans les bouteilles lorsqu'elles sont retournées aux distributeurs. Cette quantité est évaluée, selon les distributeurs à environ 15% du marché.

**EQUATION 7.11**
**SOURCES OF EMISSIONS FROM MANAGEMENT OF CONTAINERS**

$$E_{containers,\,t} = RM_t \bullet \frac{c}{100}$$

Where:

$E_{containers,\,t}$ = emissions from all HFC containers in year *t*, kg

$RM_t$ = HFC market for new equipment and servicing of all refrigeration application in year *t*, kg

c = emission factor of HFC container management of the current refrigerant market, percent

**Figure 2F1- 4 - Emissions dues à la gestion des conteneurs selon (*GIEC, 2006)***

- Le besoin pour la production d'équipements neufs (Besoin_prod) correspond à la charge_production (3.2F1) augmentée des émissions à la charge correspondantes ;
- Le besoin pour la charge d'équipements (Besoin_charge) sur site correspond à la charge_market (4.2F1) augmentée des émissions à la charge correspondantes ;
- Le besoin pour la maintenance (Besoin_maintenance) correspond aux compléments de charge lorsque la maintenance dépend d'un seuil et aux émissions fugitives lorsqu'elle est annuelle, auxquels s'ajoutent les émissions à la recharge lors des opérations de maintenance (8.2F1) ;

- Le besoin pour le rétrofit (Besoin_retrofit) correspond à charge_retrofit (9.2F1), augmenté des émissions à la recharge ;

Les quantités totales de fluides frigorigènes placées sur le marché (Quantités_marché) sont reconstituées à partir des données précédentes, en tenant compte des talons de charge.

**Quantités_marché (I,j,k) = (1+Part_talons(i)) * [Besoin_charge (i,j,k) + Besoin_prod (i,j,k) + Besoin_maintenance (i,j,k) + Besoin_retrofit (i,j,k)]** **(14.2F1)**

Part_talons = 15% (hypothèse distributeur)

Le marché calculé (14.2F1) est aussi comparé aux marchés déclarés par les producteurs et les distributeurs de fluides frigorigènes déclarées à l'Observatoire des Fluides Frigorigènes de l'ADEME [1154] et constitue une étape de vérification de cohérence de l'approche.

**E_conteneurs (i,j,k) = EF_conteneurs (i) /100 * Quantités_marchés (i,j,k)** **(15.2F1)**

Avec EF_conteneurs = 3% (hypothèse distributeur)

*Remarque*

La méthode de calcul décrite ci-dessus a été implémentée dans un outil développé dans Access par le Citepa. Celui-ci doit être couplé à une base de données caractérisant un pays ou territoire regroupant, pour chaque sous-secteur d'équipements, les caractéristiques techniques, les marchés et productions d'équipements, les hypothèses concernant les fluides utilisés, les facteurs d'émission, les hypothèses de rétrofit, etc. En 2023, cet outil a été transposé en version web. Ce nouveau développement a été l'occasion d'améliorer quelques fonctionnalités, notamment de vérification des hypothèses (amélioration QAQC : vérification de l'exhaustivité des années, de complétude des données entrées sur l'historique, des répartitions de fluides frigorigènes utilisés de façon à ce que la somme soit bien à 100 %, visualisation graphique des hypothèses et des résultats par sous-secteur, etc.). Ces nouveaux contrôles expliquent certains recalculs sur l'historique.

**Tableau 113 : Liste des données d'activité et paramètres associés selon les types d'émission (CRT 2F1)**

| Type d'émission | Donnée d'activité | Paramètres dont dépendent les données d'activités |
|---|---|---|
| A la charge | Quantités chargées dans les équipements neufs | Marchés ou productions d'équipements selon mode de charge<br>& charge moyenne<br>& fluides utilisés |
| Durée de vie | Banque | Marchés d'équipements et fluides utilisés<br>& Charge moyenne<br>& durée de vie<br>Caractéristiques de la maintenance et du retrofit |
| Fin de vie | Quantités contenues dans les équipements arrivant en fin de vie | Marchés d'équipement<br>& Charge moyenne<br>& durée de vie<br>& mode de maintenance et taux d'émission fugitif (impactant la charge résiduelle) |
| Conteneurs | Marchés de HFC | Marché neuf, marché maintenance, marché retrofit |

Dans le cadre de cette approche, la vérification de cohérence des résultats est assurée par plusieurs comparaisons croisées, à la fois par :

- La comparaison de la demande reconstituée (besoin en fluides frigorigènes pour la charge, la production et la maintenance de installations) aux quantités mises sur le marché déclarées à l'OFF (Observatoire des Fluides Frigorigènes de l'ADEME) et au SNEFCCA (Syndicat National des Entreprises du Froid, d'équipements de Cuisine professionnelles et de Conditionnement d'Air) ;
- La comparaison des quantités mises sur le marché dans les équipements préchargés selon le calcul et selon la déclaration OFF ;
- La comparaison des quantités nécessaires à la maintenance des équipements, selon le calcul et selon la déclaration à l'OFF de l'ADEME.

## Description des sous-secteurs

A la suite de la refonte de l'outil de calcul des émissions de HFC par le Citepa et de la reconstitution nécessaire de la base de données France métropole, les rapports NIR 2020 et 2021 ont présenté l'évolution détaillée des hypothèses, sur l'historique. A partir du rapport 2022, pour alléger le rapport, seules les hypothèses de l'année en cours et les éventuelles corrections antérieures sont précisées. Par ailleurs, le Citepa réalise chaque année, pour le compte de l'AFCE, une association de professionnels du froid et de la climatisation, un rapport complet sur les hypothèses et résultats par secteur d'activité. Ce rapport est enrichi chaque année des résultats d'enquête réalisée auprès de ces professionnels. Il est disponible sur le site de l'AFCE (Rapport fluides frigorigènes : septembre 2024 – AFCE – Alliance Froid Climatisation Environnement ).

### ➢ *Applications domestiques*

#### Structure du secteur

Ce secteur regroupe 4 sous-secteurs :

- Les réfrigérateurs (tous types confondus) ;
- Les congélateurs seuls ;
- Les sèche-linges avec pompe à chaleur ;
- Les caves à vin.

#### Généralités

*Modes de charge*

Les équipements domestiques sont tous chargés en usine, sur leurs lieux de production. Les émissions à la charge dépendent donc des productions nationales.

*Modes de maintenance*

Il est considéré qu'il n'y a quasiment pas de maintenance faite sur ces équipements, les systèmes frigorifiques sont entièrement scellés.

*Durée de vie moyenne*

La durée de vie moyenne de ces équipements prise en compte dans les calculs est de 15 ans pour les réfrigérateurs, congélateurs et caves à vin, et de 10 ans pour les sèche-linges pompe à chaleur. Une courbe de durée de vie est associée.

#### Données d'activités

**Tableau 114 : Nombre d'équipements des applications domestiques, pour l'année 2023**

| Année 2023 | Marchés d'équipements | Productions d'équipements |
|---|---|---|
| Réfrigérateurs | 2 840 000 | 0 |
| Congélateurs | 604 000 | 0 |
| Caves à vin | 200 000 | 26 000 |
| Sèche linges thermodynamiques | 426 000 | 0 |

*Marchés*

***Réfrigérateurs et congélateurs***

Le Gifam (Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'Equipement Ménager) [1090] publie chaque année les statistiques de ventes de certains appareils domestiques, dont les réfrigérateurs et les congélateurs.

***Sèche-linges pompes à chaleur***

Le marché des sèche-linges pompes à chaleur en France a été reconstitué depuis 2010 à partir des informations d'un producteur d'équipement [1091] et des données récentes du Gifam [1090] qui fournit les ventes de sèche-linges en France

ainsi que la segmentation par produit permettant de distinguer les sèche-linges PAC des sèche-linges à condensation et des sèche-linges à évacuation.

***Caves à vin***

Le marché des caves à vin a vraiment été significatif à partir du début des années 2000. Le taux d'équipement des ménages français était relativement faible en 2005 (2,9%) et a augmenté pour concerner, en 2015, environ 7% des foyers français selon le Gifam. Le marché des caves à vin a été reconstitué à partir d'informations sur le parc des caves à vin en France pour certaines années (2007, 2010, 2011, 2015, 2017). Depuis 2018, les ventes annuelles de ces équipements proviennent du Gifam [1090].

*Productions*

***Réfrigérateurs et congélateurs***

Les réfrigérateurs ne sont plus produits en France depuis 2001 et les congélateurs depuis 2005.

***Sèche-linges pompes à chaleur***

Parmi les sèche-linges fabriqués en France, seule une usine a fabriqué des sèche-linges de type pompe à chaleur entre 2013 et 2018 et utilisant uniquement du R-134a. Les consommations de réfrigérants pour la production de ces équipements ont été directement transmises par l'exploitant et le nombre d'appareils produits est déduit de ces consommations et de la charge nominale de l'appareil.

***Caves à vin***

Il existe un seul fabricant de caves à vin en France (groupe Eurocave). Le volume de production en France n'a pu être obtenu, excepté en 2013 (revue spécialisée [1094]). Les volumes de productions des années antérieures et postérieures ont été estimées en suivant les tendances 2012-2013, en considérant un taux d'augmentation annuel de 8 %.

*Charge nominale*

***Réfrigérateurs***

La charge nominale moyenne des réfrigérateurs mis sur le marché peut être évaluée en fonction :

- d'un ratio de charge, exprimé en g de réfrigérant par litre de volume de réfrigérateur, ce ratio étant variable en fonction du type de fluide réfrigérant utilisé ;
- du volume moyen des équipements mis sur le marché.

Pour la catégorie Congélateur, la charge est calculée de la même manière, en fonction d'un ratio de charge par fluide et d'un volume moyen.

**Tableau 115 : Ratios de charge (en kg/l) et volumes moyens (en l) des réfrigérateurs et congélateurs, en 2023**

| Année 2023 | Ratio de charge (kg/l) (R-600a) | Volume moyen (l) |
|---|---|---|
| Réfrigérateur | 0,23 | 244 |
| Congélateur | 0,3 | 202 |

***Sèche-linges pompes à chaleur***

La quantité de réfrigérant R-134a contenu dans un appareil dépend des classes énergétiques et varie de 280g pour les bases A+ et 370g pour les bases A++ selon [1091]. Une valeur moyenne de 325 g/appareil est considérée, faute de connaissance plus précise de la composition du marché. Ce volume de charge est cohérent avec la gamme proposée dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 50 et 500 g/appareil).

***Caves à vin***

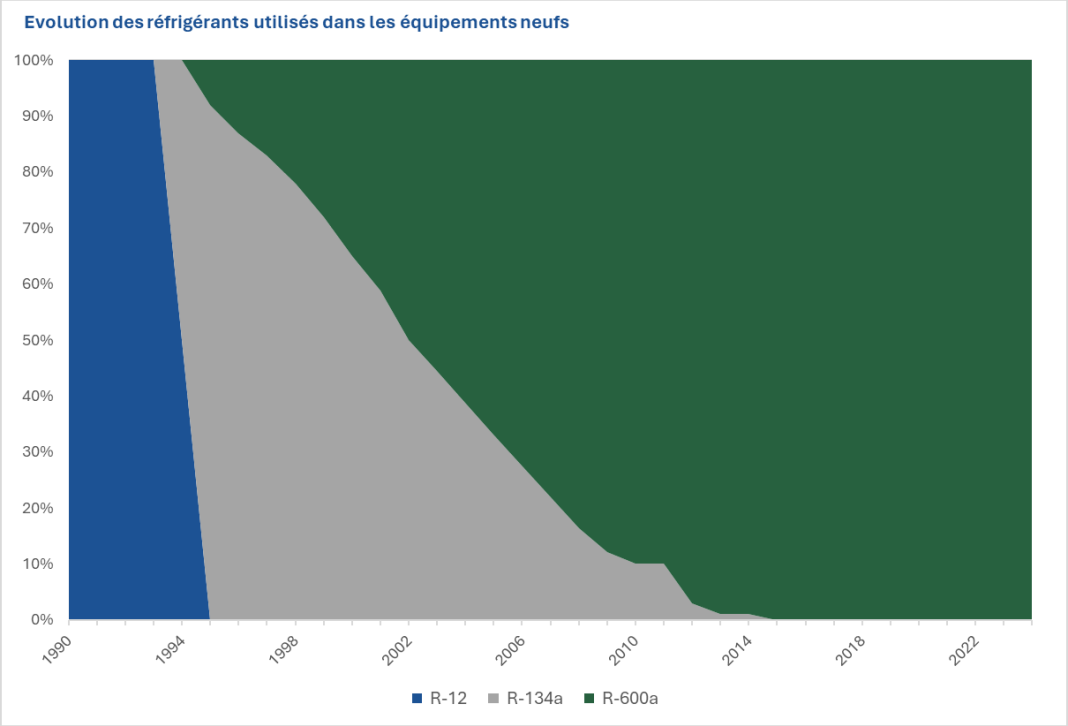
Selon un fabricant [1092], la charge moyenne de réfrigérant d'une cave à vin est comprise entre 30 et 100 g. Une valeur moyenne de 65 g/appareil est considérée dans l'inventaire. Cette valeur est également cohérente avec l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 50 et 500 g/appareil).

*Réfrigérants*

***Réfrigérateurs et congélateurs***

Le CFC-12 a historiquement été utilisé avant son interdiction par le Protocole de Montréal. Deux fluides l'ont remplacé à partir de 1994 et 1995, le R-134a et l'isobutane (R-600a). L'évolution des fluides frigorigènes utilisés au cours du temps a été évaluée à partir d'enquêtes de terrain menées régulièrement (figure ci-dessous) [207].

**Figure 110 : Evolution des fluides frigorigènes utilisés sur le marché neuf des réfrigérateurs domestiques**




La réglementation européenne CE 517/2014 interdit la mise sur le marché des réfrigérateurs et congélateurs domestiques contenant un fluide frigorigène dont le PRG est supérieur à 150 depuis 1er janvier 2015. L'intégralité des équipements mis sur le marché à partir de 2015 le sont avec du R-600a.

***Sèche-linges pompes à chaleur***

Dans l'inventaire, il est supposé que seul le R-134a était utilisé dans les équipements jusqu'en 2018. En 2018, une enquête terrain [1093] a mis en évidence la présence de R-450A et R-290. Une introduction progressive de ces fluides a donc été prise en compte dans les hypothèses de calcul. En 2023, la répartition est estimée à 30 % de R-450A / 70 % de R-290.

***Caves à vin***

Les enquêtes annuelles ont montré que le R-600a et le R-134a étaient les fluides les plus employés sur le marché des caves à vin. L'enquête terrain réalisée en 2019 [1093] a par montré que le R-600a était désormais le seul fluide frigorigène utilisé. Il a été supposé une introduction progressive du R-600a en remplacement du R-134a à partir de 2000 pour atteindre 100 % du marché neuf en 2019.

### Facteurs d'émission

*A la charge*

**Tableau 116 : Facteurs d'émission (en % de fluide chargé) à la charge, pour les applications domestiques, en 2023**

| Année 2023 | Réfrigérateurs | Congélateurs | Sèche-linges pompes à chaleur | Caves à vin |
|---|---|---|---|---|
| Facteur d'émission à la charge | 0,2% | 0,2% | 0,1% | 0,6% |

***Réfrigérateurs et congélateurs***

Il est considéré, dans les hypothèses, que le facteur d'émission à la charge des réfrigérateurs et congélateurs a évolué au cours du temps avec l'amélioration des pratiques. Un facteur d'émission de 2 % a été utilisé jusqu'à la fin de l'utilisation du R-12 dans le milieu des années 1990. Par la suite, une régression linéaire a été appliquée jusqu'au milieu des année 2010 à un taux de perte de 0,2 % a été utilisé, correspondant à la tranche basse des facteurs d'émission des Lignes directrices du GIEC 2006 pour le froid domestique [1095].

***Sèche-linges pompes à chaleur***

Un facteur d'émission spécifique au pays a été calculé en utilisant les consommations et les émissions déclarées par l'unique site de production en France. Celui-ci varie de 4,9 % à 0,1 % selon les années. La mise en place d'un nouveau process de remplissage du gaz entre 2016 et 2017 explique en partie la forte baisse de ce facteur d'émission.

***Caves à vin***

Faute de données fabricant, le facteur d'émission utilisé correspond à la moyenne de l'intervalle préconisé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 [1095], soit 0,6 %.

*Fugitifs*

Les appareils de froid domestique sont très étanches, le circuit frigorifique étant simple et entièrement soudé. Les émissions fugitives sont donc quasi-inexistantes et constituées de très rares pertes complètes de la charge correspondant généralement à un défaut initial de brasure. Le taux d'émissions fugitives est donc assimilé à la fréquence de défaillance des équipements : il est considéré stable, de l'ordre de 0,01 % correspondant à 1 défaillance sur 10 000 appareils [207]. Ce taux est basé sur les résultats d'une enquête assez ancienne qui avait été menée auprès d'un magasin de vente. Ce taux d'émission est supposé identique pour les 4 sous-applications de ce secteur.

| Année 2023 | Appareils domestiques |
|---|---|
| Facteur d'émission fugitif | 0,01 % |

*Fin de vie*

Depuis la mise en place de la filière DEEE en 2007 imposée par la réglementation française (décret n° 2005-829 du 20 juillet 2005 relatif à la composition des équipements électriques et électroniques et à l'élimination des déchets issus de ces équipements), des éco-organismes assurent la collecte, le recyclage et le suivi des quantités récupérées. Les quantités annuelles de CFC, HCFC, HFC et HC extraits en première phase de dépollution des appareils de froid domestique sont communiquées par l'ADEME dans les rapports DEEE [1096]. Un taux de récupération peut ainsi être estimé en comparant les quantités récupérées et le potentiel de récupération, estimé par le calcul en fonction des quantités mises sur le marché antérieurement et de la durée de vie moyenne des équipements. Ce taux de récupération est supposé le même pour toutes les applications domestiques. La filière est en progrès et permet actuellement de récupérer 56 % du potentiel. A noter que le suivi n'est désormais plus publié régulièrement et les tendances après 2021 sont supposées stables.

| Année 2023 | Appareils domestiques |
|---|---|
| Facteur d'émission fin de vie | 40 % |

## ➢ *Climatisation embarquée*

**Structure du secteur**

Le secteur de la climatisation embarquée se divise en quatre sous-secteurs, déterminés par les technologies utilisées et les modes de transport :

- La climatisation automobile : elle comprend les circuits de climatisation des véhicules particuliers et utilitaires légers (VUL), jusqu'à 5 t ;
- Les véhicules industriels : ils regroupent les camions de plus de 5 t. Ce sous-secteur est proche de celui de la climatisation automobile, seule la cabine du conducteur est climatisée, par des systèmes de technologie identique.

- Les cars et bus : ils présentent des systèmes de climatisation différents, plus puissants, où tout le véhicule est rafraîchi.
- Le transport ferroviaire : il comprend les trains/TGV, les tramways, les RER et les métros. Les technologies sont spécifiques, avec des climatisations dans les cabines de conduites et des climatisations pour les segments voyageurs. Les sous-secteurs tramways, métros et RER constituent une part minoritaire du parc ferroviaire.

#### Généralités

*Modes de charge*

Tous ces équipements sont chargés en usine (sur les lieux de production).

*Modes de maintenance*

Dans le modèle de calcul, il est considéré que ces équipements subissent une opération de maintenance dès lors que la quantité de réfrigérant contenue dans le système de climatisation est en deçà d'un certain seuil à partir duquel la climatisation du véhicule fonctionne moins bien. Les différentes hypothèses retenues dans le modèle sont listées ci-dessous :

**Tableau 117 : Hypothèses liées à la maintenance de la climatisation embarquée, par type de véhicule**

| Sous-secteur | Rythme de maintenance | Seuil | Décharge complète lors de la maintenance |
|---|---|---|---|
| Climatisation automobile | si la charge passe en dessous du seuil | 60 % | Oui |
| Véhicules industriels | si la charge passe en dessous du seuil | 60 % | Oui |
| Car et bus | si la charge passe en dessous du seuil | 60 % | Oui |
| Transport ferroviaire | si la charge passe en dessous du seuil | 50 % | Non |

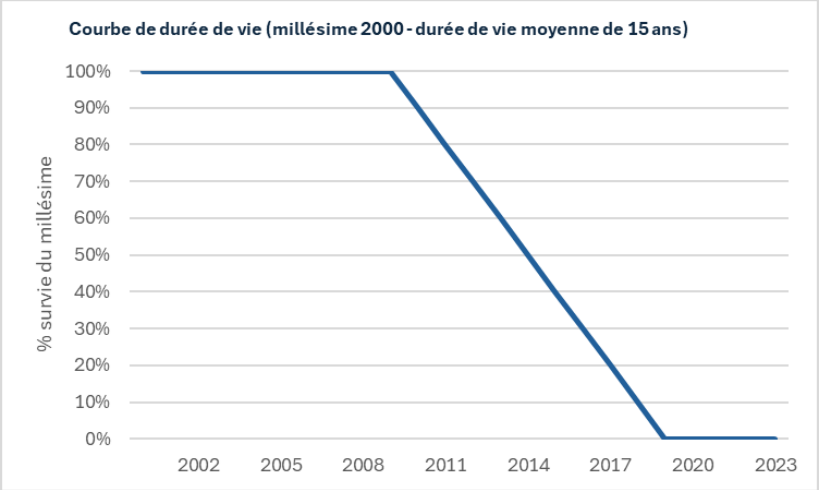
*Durée de vie moyenne*

Les durées de vie moyenne des équipements sont présentées au tableau ci-dessous. Elles sont cohérentes avec différents croisements réalisés lors de précédentes études d'inventaires [207].

| Sous-secteur | Durée de vie (ans) |
|---|---|
| Climatisation automobile | 12 |
| Véhicules industriels | 12 |
| Car et bus | 15 |
| Transport ferroviaire | 15 |

Une courbe de durée de vie est associée aux durées de vie moyenne afin de prendre en compte une variation réaliste de la durée de vie pour les véhicules d'un même millésime.

**Figure 111 – Courbe de fin de vie cars et bus (Durée de vie moyenne de 15 ans)**




### Données d'activités

*Marchés*

Deux paramètres sont nécessaires pour reconstituer le parc de climatisation embarquée :

- Les ventes annuelles (ou nombre d'immatriculations neuves) du moyen de transport ;
- Le taux de climatisation du marché des nouveaux équipements.

**Tableau 118 : Nombre de véhicules, par type, équipés d'une climatisation embarquée, pour l'année 2023**

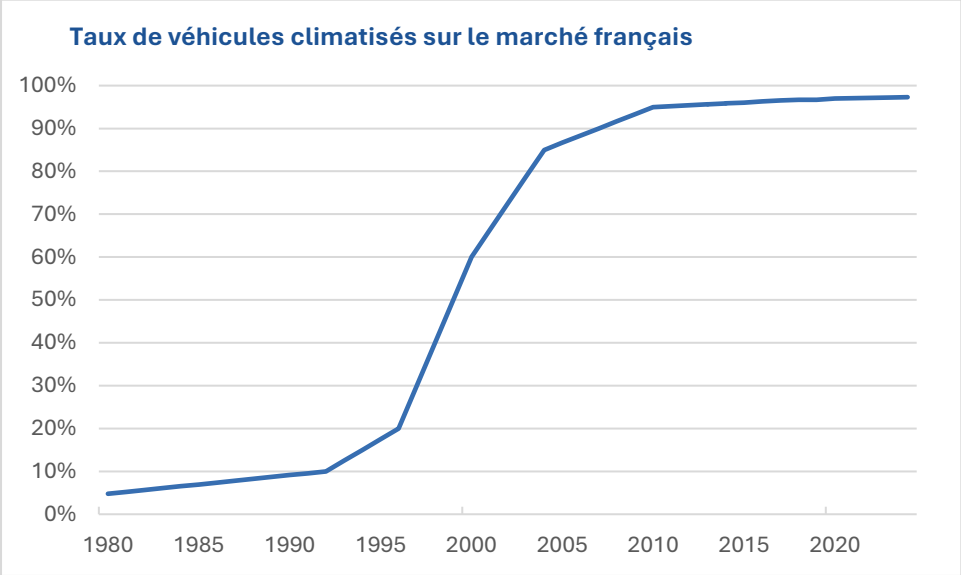
| Année 2023 | Marchés d'équipements | Productions d'équipements |
|---|---|---|
| Véhicules particuliers et utilitaires légers | 2 000 000 | 1 300 000 |
| Véhicules industriels | 45 000 | 35 000 |
| Cars et bus | 4 500 | 3 500 |
| Trains & tramways | 2 000 | 2 000 |

***Climatisation automobile***

Le marché de véhicules en France est communiqué chaque année par le Comité des Constructeurs Français d'Automobiles (CCFA) [1097] pour toute la période à partir de 1990.

La courbe de pénétration de la climatisation sur le marché automobile français a été reconstituée à partir des données du model COPERT et d'informations annuelles provenant des principaux constructeurs automobiles en France [1098] et [1099].

**Figure 112 : Evolution du taux de climatisation automobile en France métropole (en %)**




***Véhicules industriels***

Le marché de véhicules industriels supérieurs à 5 t en France est connu à l'aide des données du CCFA [1097] pour toute la période à partir de 1990.

Le taux de climatisation est supposé être identique à celui de la climatisation automobile utilisé à partir du modèle COPERT à la différence qu'il continue à progresser à partir de 2010 pour atteindre 99% en 2018 selon un fabricant [1100].

***Car et bus***

Le marché de cars et bus en France est connu à l'aide des données du CCFA [1097] pour toute la période à partir de 1990.

La courbe de pénétration de la climatisation a été reconstituée à partir d'informations issues des rapports inventaires de fluides frigorigènes [207] et de données fabricants [1101]. La courbe ainsi générée conduit à un niveau de 80 % de véhicules climatisés mis sur le marché en 2020 qui est prolongé sur 2020-2023.

***Transport ferroviaire***

Les marchés des équipements de climatisation utilisés dans le transport ferroviaire ont été reconstitués à partir de données :

- Sur les parcs de moteurs et de remorques (ou rames) de trains et TGV publiées par le ministère chargé de l'écologie [1102].
- Sur les données précisant les équipements types par mode de transport :
  - pour les tramways, il est considéré lune climatisation par cabine et une autre climatisation pour 2 remorques (rapport inventaire des fluides frigorigènes [207]) ;
  - pour les trains/TGV, un ratio du nombre de climatisation par cabine et remorque pour chaque type de trains a été établi à partir des données SNCF (description du parc d'équipements 2013);
  - pour les métros, sur la base des informations transmises par l'exploitant des transport parisien [1103] il est considéré un pourcentage de rames dotées d'une climatisation appliqué à l'ensemble des métros nationaux et que chaque cabine conducteur est équipée d'une climatisation.

*Productions*

La production des équipements de climatisation pour les trains, métros, RER et tramways est considérée égale aux marchés annuels.

*Charge nominale*

Ce paramètre varie en fonction du temps afin de tenir compte de la forte réduction qui marque en particulier ce secteur. Les données historiques sont reconstituées à partir de publications et les données récentes mises à jour par des enquêtes de terrain ou calculs selon des données récentes. Pour l'année 2023, les niveaux moyens de charge par application sont les suivants :

**Tableau 119 : Niveaux moyens de charge nominale, par type de véhicule, en 2023 (en kg)**

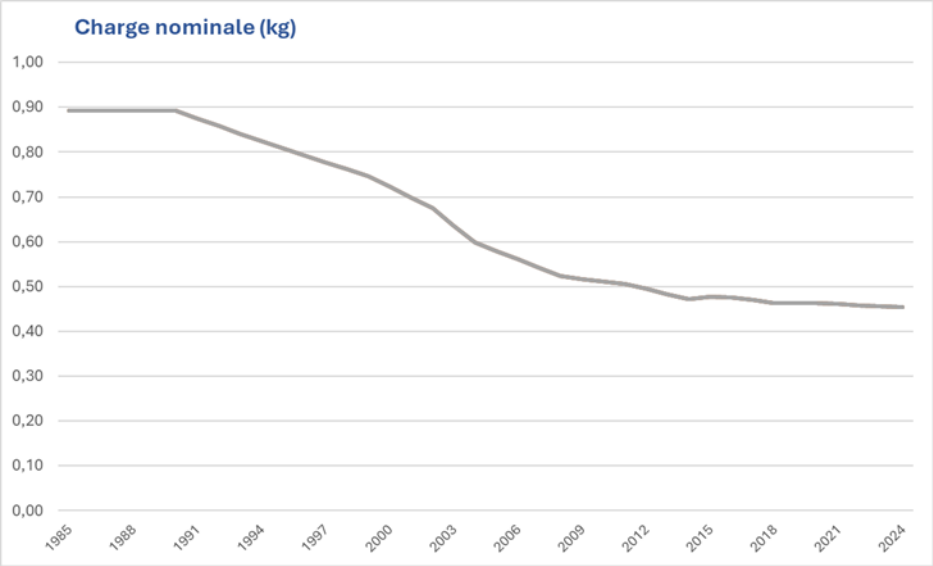
| Année 2023 | Charge nominale (kg) |
|---|---|
| Climatisation automobile | 0,46 |
| Véhicules industriels | 0,90 |
| Cars et bus | 9,8 |
| Trains | 14,5 |

***Climatisation automobile***

La charge moyenne des véhicules automobiles (Véhicules particuliers (VP) et Véhicules Utilitaires légers (VUL)) est calculée chaque année à partir des données caractéristiques fournies par les équipementiers ([1104] et [1105]) et des trente meilleures ventes de véhicules ([1097]).

La charge moyenne calculée diminue au cours du temps. Le niveau s'élevait à presque 900 g de réfrigérant par véhicule dans les années 1990 alors qu'il se situe aujourd'hui en-dessous de 500 g. La charge estimée ces dernières années est donc inférieure à l'intervalle indiqué dans les Lignes directrices du GIEC 2006 [1095] mais ces données sont issues de calculs spécifiques au pays et tiennent compte des progrès réalisés par les équipementiers et la profession automobile.

**Figure 113 : Charge moyenne de réfrigérant par véhicule (VP & VUL)**




***Véhicules industriels***

Les charges moyennes sont estimées sur la base d'informations transmises par deux producteurs français [Renault Truck, Scania].

Les niveaux de charge varient ainsi au cours du temps avec une constante diminution de 1310 g de réfrigérant par véhicule en 1990 à 900 g en 2023. Ces valeurs sont comprises dans l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (de 500 à 1500 g de réfrigérant par véhicule) [1095].

***Car et bus***

La quantité de réfrigérant contenu dans les systèmes de climatisation des bus et cars dépend notamment de la longueur et du type de bus (si seule la cabine du chauffeur est climatisée ou bien le bus entièrement).

La courbe d'évolution de la charge moyenne de ces équipements a été reconstituée à partir :

- d'informations tirées du rapport RTOC (report of the Refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee) [1106] ;
- de données fabricant [1101].

***Transport ferroviaire***

Pour les trains, un ratio du nombre de climatisations par cabine et remorque pour chaque type de trains a été établi en 2013 à l'aide de l'état des lieux du principal opérateur ferroviaire en France [SNCF]. Ce ratio a ensuite été utilisé pour en déduire le parc d'équipement pour les autres années. Les quantités de réfrigérant déduits sont les suivantes :

- Environ 3 kg par cabine de TGV climatisée ;
- Environ 2 kg par cabine climatisée pour les autres trains ;
- Environ 19 kg par remorque voyageur TGV climatisée ;
- Environ 23 kg par remorque voyageur pour les autres trains climatisés.

Pour les tramways, RER et métros, les informations utilisées proviennent de la RATP [1103] et sont les suivantes :

- Entre 1 et 2 kg par cabine de métro climatisée ;
- Environ 2,5 kg par cabine de tramways climatisée ;
- Environ 5 kg par cabine de RER climatisée ;
- Environ 11,5 kg par remorque voyageur tramway climatisée ;
- Entre 13 et 17 kg par remorque voyageur métro climatisée.

*Réfrigérants*

La directive 2006/40/CE du 17 mai 2006 concernant les émissions provenant des systèmes de climatisation des véhicules à moteur (MAC) interdit pour les véhicules neufs l'utilisation de fluide frigorigène dont le PRG est supérieur à 150 à compter du 1er janvier 2017. Cette directive européenne concerne les véhicules particuliers et non les véhicules utilitaires légers. Ainsi, le R-1234yf n'est pas présent dans l'intégralité des nouveaux marchés de véhicules. De même, la production des véhicules destinées à l'exportation hors Europe n'est pas concernée.

***Climatisation automobile***

Au cours du temps, trois principaux fluides frigorigènes se sont succédé dans les climatisations des véhicules : le R-12 (CFC), le R-134a (HFC) rapidement à partir de 1995 [1107] et le HFC-1234yf (HFO), progressivement introduit sur les véhicules neufs mis sur le marché Européen depuis 2014-2015.

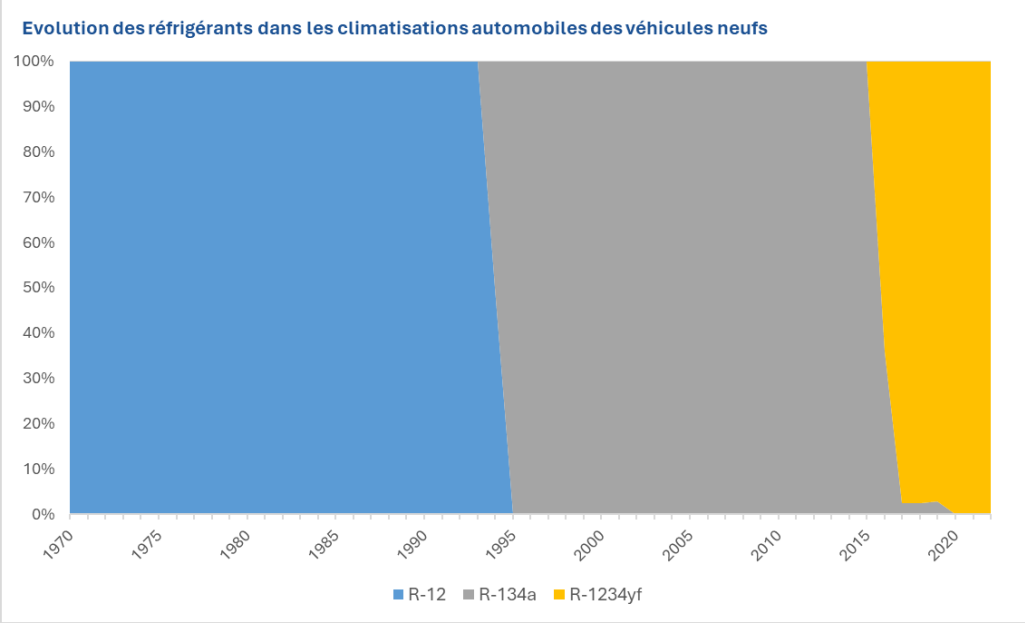



**Figure 114 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes de climatisation des véhicules particuliers et utilitaires légers mis sur le marché.**

Selon des informations du producteur de HFC-134a, en 2017 la réglementation européenne a été respectée et la totalité des véhicules particuliers ont été mis sur le marché européen avec des systèmes de climatisations fonctionnant au R-1234yf. En revanche, la progression du R-1234yf en remplacement du R-134a n'a eu lieu que très tardivement. Peu de véhicules utilisant le R-1234yf ont été mis sur le marché européen avant 2014 et la part du R-1234yf n'a été significative qu'à partir de 2016. A partir de 2016, on évalue le nombre de VP et VUL mis sur le marché avec du R-1234yf à l'aide des données de production d'un fabricant automobile [1099].

***Véhicules industriels***

Deux fluides frigorigènes ont été utilisés dans cette sous-application : le R-12 et le R-134a. Il est supposé que la transition entre ces deux fluides s'est faite comme pour la climatisation automobile en deux ans, entre 1992 et 1994. La transition avec le R-1234yf se fera plus lentement que pour les VP et VUL, selon les producteurs. Il est considéré que 20 % des nouvelles immatriculations utilisent le R-1234yf en 2023.

***Car et bus***

L'évolution historique des fluides frigorigènes utilisés dans cette application a été reconstituée à partir des données des rapports RTOC [voir rapport NIR 2020]. Comme pour les véhicules industriels, il est supposé que le R-134a est le seul fluide frigorigène utilisé pour les années récentes, la transition avec le R-1234yf est supposée commencer en 2021.

***Transport ferroviaire***

Pour les trains et TGV, selon la SNCF, les équipements de climatisation utilisent le R-134a ou le R-407C, selon qu'ils équipent les TGV ou les TER et les postes de cabine ou wagon voyageur. Le R-32 et le R-450A ont commencé à être introduits en 2020. Pour les RER, tramways et métros, le fluide utilisé en remplacement du R-22 est le R-134a [1103].

**Facteurs d'émission**

*A la charge*

**Tableau 120 : Facteurs d'émission à la charge pour la climatisation embarquée, par type de véhicule, en 2023 (en %)**

| Année 2023 | Climatisation automobile | Véhicules industriels | Cars et bus | Trains |
|---|---|---|---|---|
| Facteur d'émission à la charge | 0,23% | 0,23% | 0,13% | 1,50% |

***Climatisation automobile***

Le facteur d'émission à la production des véhicules est estimé sur la base d'informations transmises par deux producteurs automobiles. Dans les années 1990, le facteur d'émission est estimé à environ 3% puis diminue pour se situer entre 0,2 et 0,3 % ces dernières années. Le facteur d'émission national calculé pour les années récentes est donc compris dans l'intervalle des facteurs d'émission indiqués dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 0,2 et 0,5 %) [1095].

***Véhicules industriels***

Les facteurs d'émission à la production des véhicules industriels sont très faibles, et sont considérés identiques à ceux des climatisations automobiles.

***Car et bus***

Le facteur d'émission à la charge des cars et bus est spécifique, déterminé par l'estimation par bilan matière d'un producteur pour les années 2018 et 2019 (respectivement 0,12 et 0,13 %). Ce ratio est inférieur à la gamme des Lignes directrices du GIEC 2006 [1095] mais a été estimé pour deux années successives et récentes et considéré comme niveau moyen depuis 2018. Pour les années antérieures à 2018, faute de données spécifiques aux cars et bus, les valeurs estimées pour la climatisation automobile sont utilisées.

***Transport ferroviaire***

Le facteur d'émission à la charge dans le transport ferroviaire est pris égal à celui utilisé dans le modèle des climatisations stationnaires chargées d'usine (entre 3 % pour les années anciennes et 1,5 % pour les années récentes).

*Fugitif*

**Tableau 121 : Facteurs d'émission fugitive pour la climatisation embarquée, par type de véhicule, en 2023 (en %)**

| Année 2023 | Climatisation automobile | Véhicules industriels | Cars et bus | Trains |
|---|---|---|---|---|
| Facteur d'émission fugitive | 8 % | 8 % | 10 % | 5 % |

***Climatisation automobile***

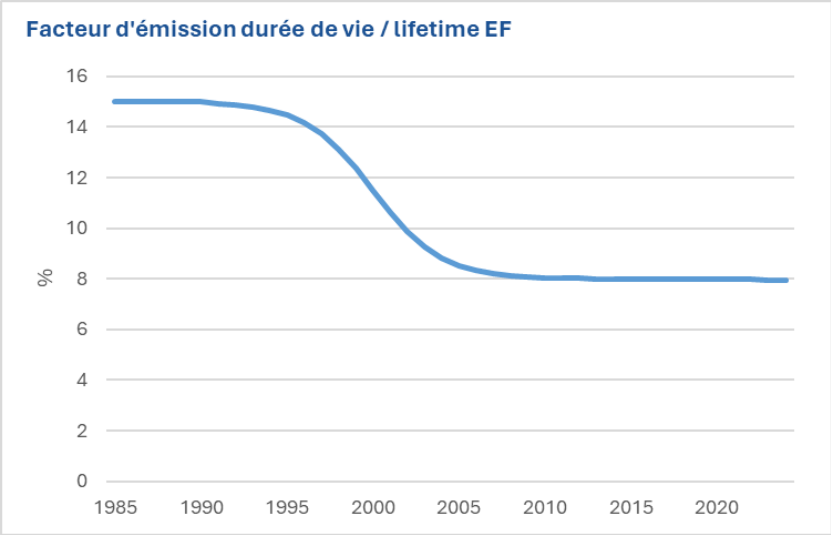
L'évolution des facteurs d'émission pendant le fonctionnement des véhicules est établie à partir d'une courbe en S construite en fonction des valeurs suivantes tirées des Lignes directrices du GIEC 2006 [1095] :

**Tableau 122 : Paramètres retenus pour l'équation de calcul des facteurs d'émission pendant le fonctionnement des véhicules (source : GIEC 2006)**

| | Intervalle | | |
|---|---|---|---|
| | Haut | Bas | Moy |
| 1ère génération | 20% | 10% | 15,0% |
| 2ème génération | 10,6% | 5,3% | 8,0% |

L'hypothèse retenue dans les calculs correspond à la moyenne des intervalles de la deuxième génération à partir de la fin des années 2000 et à la moyenne de la première génération jusqu'en 1996. Il faut attendre une dizaine d'années pour que le parc se renouvelle et se rapproche de 100 % de véhicules équipés de climatisation de seconde génération et donc d'un facteur d'émission moyen de 8 %.

**Figure 115 : Facteur d'émission au cours de la durée de vie des véhicules (en %)**




***Véhicules industriels***

Des facteurs d'émission identiques à ceux utilisés pour la climatisation automobile sont pris en compte pour les véhicules industriels.

***Car et bus***

Les hypothèses retenues dans cette application proviennent du RTOC 2010 [1108] : les taux de pertes annuelles pour les cars et bus sont d'environ 10 % de la charge nominale et, pour les engins construits avant 2000, ce facteur d'émission est deux fois plus élevé. Il a été considéré une régression linéaire entre 2000 et 2010.

***Transport ferroviaire***

La courbe d'évolution des facteurs d'émission fugitifs pour le transport ferroviaire a été construite à l'aide d'une courbe en S allant d'un maximum de 15 % en 1995 (rapport RTOC [1109]) à un taux de 5 % dans les années 2010 [207] et maintenu constant, faute d'information complémentaire.

*Fin de vie*

**Tableau 123 : Facteurs d'émission de fin de vie pour la climatisation embarquée, par type de véhicule, en 2023**

| Année 2023 | Climatisation automobile | Véhicules industriels | Cars et bus | Trains |
|---|---|---|---|---|
| Facteur d'émission de fin de vie | 44 % | 88 % | 50 % | 12 % |

***Climatisation automobile***

Les émissions en fin de vie dépendent directement des quantités de gaz fluorés qui sont récupérées dans les véhicules hors d'usage (VHU) avant leur destruction. La directive 2000/53/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 septembre 2000 relative aux véhicules hors d'usage (dite directive VHU) fixe des objectifs en termes de :

- Promotion des politiques de prévention des déchets lors des phases de conception et de construction des véhicules ;
- Création d'un système de collecte des VHU ;
- Conditions de traitement des VHU ;
- Réutilisation et valorisation des VHU ;
- Obligations de communication des différents acteurs.

Parmi les matières à valoriser, on recense notamment les fluides frigorigènes utilisés dans les climatisations. Dès 2005, l'ADEME a mis en place le suivi de la filière des véhicules hors d'usage en créant l'observatoire des VHU dans le cadre de la mise en œuvre de l'arrêté du 19 janvier 2005 portant sur la communication d'informations relatives à la mise sur le marché des automobiles en France, aux opérations de dépollution, de traitement et de broyage des véhicules hors d'usage. L'objectif étant de suivre les performances de la filière globale des VHU. L'ADEME rapporte ainsi chaque année dans son rapport les quantités de fluides frigorigènes récupérées par les filières de traitement des VHU. Cependant, ces données ne sont pas exploitables pour l'inventaire car les quantités de fluides récupérées sont estimées, et non mesurées, sur la base d'une quantité moyenne de fluide (0,54 kg) multipliée par le nombre de VHU. Ces quantités sont donc largement surestimées car d'une part tous les VHU ne sont pas climatisés, d'autre part, ceux qui le sont ont perdu une part de fluide pendant leur fonctionnement, et enfin la quantité moyenne de fluide contenue dans les véhicules dépend de la période de mise sur le marché.

Cependant, à la suite des revues internationales, il a été constaté que le taux d'émissions de fin de vie estimé pour la France était bien supérieur aux niveaux des autres pays européens alors que la filière VHU n'y est pas davantage mise en place. Des discussions lors des revues avaient également mis en évidence que la part exportée des véhicules en fin de vie n'était pas prise en compte et semblait non négligeable.

Par conséquent, une correction a été apportée depuis l'inventaire 2019 et un taux de récupération a été recalculé à partir de 2012 tenant compte :

- de la quantité de VHU traités par les casses annuellement,
- du gisement potentiel estimé à partir des données sur les marchés et la durée de vie moyenne des véhicules,
- et d'un taux de récupération des HFC au sein des VHU traités, sa tendance d'évolution étant évaluée à partir d'hypothèses sur l'amélioration des comportements, bonnes pratiques et hausse récente des prix des HFC.

Pour les années antérieures, le taux de récupération n'a pas été modifié [207].

$$\text{Efficacité_Récupération}\ (\%)_{\,N} = \text{Part VHU pris en charge}_{\,N} * \text{Part des fluides traités dans les VHU}_N$$

Avec :

$$\text{Part VHU pris en charge}_N\ (\%) = \frac{\text{Nombre VHU traités}_N}{\text{Nombre véhicules mis sur le marché}_{N-12} - \text{Nombre véhicules exportés}_N}$$

Le nombre de VHU traités chaque année est communiqué dans les rapports VHU de l'ADEME [1110] de même que les exportations. Le nombre de véhicules mis sur le marché à l'année N-12 (durée de vie moyenne des véhicules) est connu précisément dans les rapports du CCFA [1097]. La part des fluides traités dans les VHU pris en charge par les casses est estimée sur la base d'hypothèses et augmente chaque année. Celle-ci a été estimée à 25 % en 2013 et 50 % en 2017. Des enquêtes terrains auprès des casses pourraient valider l'ordre de grandeur de ces hypothèses. Les niveaux des années suivantes ont été estimés tendanciellement, pour atteindre 44 % d'efficacité de récupération en 2023, tenant compte des exportations.

Une tendance similaire décalée dans le temps est supposée pour les cars et bus.

***Véhicules industriels***

Les taux de récupération des fluides frigorigènes en fin de vie de ces véhicules sont supposés rester bas, faute d'information complémentaire. Les niveaux des anciens rapports d'inventaires [207] sont maintenus.

***Transport ferroviaire***

D'après le service de maintenance de la SNCF, la récupération en fin de vie des équipements de climatisation des trains est équivalente à celle réalisée lors des opérations de maintenance. La progression de l'efficacité de récupération est estimée à partir d'une courbe en S démarrant en 1990 pour atteindre 90 % dans les années 2020.

## ➢ *Transports frigorifiques*

### Structure du secteur

Le secteur des transports frigorifiques se compose de 3 sous-secteurs : les navires réfrigérés, les containeurs frigorifiques autonomes et le transport routier. Ce dernier est scindé en 2 catégories :

- les véhicules équipés de groupes frigorifiques autonomes de type « moteur thermique », rencontrés généralement sur les remorques ou semi-remorques ;
- les véhicules équipés de groupes de type « poulie-courroie » accouplés au moteur et installés sur les véhicules plus petits.

Les navires réfrigérés correspondent aux cales réfrigérées ou « reefers », c'est-à-dire les navires équipés de leurs propres systèmes de production frigorifique. On distingue plusieurs types de navires réfrigérés : les navires congélateurs, les transporteurs de palettes, les transporteurs en vrac ou les navires citernes (pour le transport des jus notamment).

Les conteneurs frigorifiques autonomes sont indépendants du mode de transport et sont véhiculés par train, camion ou bateau (porte-conteneurs). Les portes conteneurs sont apparus dans les années 1970 et sont devenus le principal mode de fret maritime et leur nombre continue de croitre.

### Généralités

*Modes de charge*

Il est considéré que :

- les systèmes de type « poulie-courroie » sont chargés sur le site de production des remorques ou semi-remorques,
- les véhicules équipés de groupes frigorifiques autonomes de type « moteur thermique » sont chargés en usine de production,
- les cales réfrigérées des navires sont chargées sur place,
- les conteneurs frigorifiques sont chargés d'usine.

*Modes de maintenance*

Il est considéré que ces équipements subissent une opération de maintenance dès lors que la charge de réfrigérant arrive en deçà d'un certain seuil. Par ailleurs, ces équipements ne nécessitent pas de décharge complète du fluide pendant la maintenance. Ces pratiques sont prises en compte dans les calculs des émissions liées à la maintenance des équipements. Les différentes hypothèses retenues par équipement sont listées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 124 : Hypothèses liées à la maintenance dans le transport frigorifique, par type d'équipement**

| Sous-secteur | Rythme de maintenance | Seuil | Décharge complète lors de la maintenance |
|---|---|---|---|
| Véhicules utilitaires réfrigérés légers | selon seuil | 70 % | non |
| Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques | selon seuil | 70 % | non |
| Cales réfrigérées | selon seuil | 70 % | non |
| Conteneurs frigorifiques | selon seuil | 80 % | non |

*Durée de vie moyenne*

L'hypothèse de durée de vie moyenne est de 10 ans pour les transports routiers, de 20 ans pour les conteneurs frigorifiques et de 30 ans pour les navires équipés de cales réfrigérées [207]. Elle est associée à une courbe de durée de vie, comme pour les autres secteurs.

#### Données d'activités

**Tableau 125 : Nombre d'équipements du transport frigorifique, pour l'année 2023**

| Année 2023 | Marchés d'équipements | Productions d'équipements |
|---|---|---|
| Véhicules utilitaires légers réfrigérés | 5 800 | 5 500 |
| Semi-remorques et camions réfrigérés | 5 600 | 22 600 |
| Reefers | < 1 | < 1 |
| Conteneurs réfrigérés | 26 500 | 26 500 |

*Marchés*

***Véhicules utilitaires réfrigérés légers***

Le calcul de la banque de fluides et des émissions fugitives dépend du parc circulant en France, celui-ci peut être calculé à partir des marchés annuels de véhicules utilitaires légers réfrigérés.

Les marchés historiques (avant 2000) ont été reconstitués à partir des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207] et d'hypothèses sur les taux de croissance du sous-secteur.

De 2002 à 2016, les données de marchés des véhicules frigorifiques ont été transmis par l'association Carcoserco (ou Fédération Française de carrosserie). Depuis 2018, le marché national est estimé sur la base de communications de la Fédération Française de Carrosserie (FFC) telles que « l'observatoire du véhicule industriel » [1113].

***Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques***

Les marchés annuels de remorques et de semi-remorques ont été reconstitués de la même façon que pour les véhicules utilitaires légers réfrigérés.

***Reefers***

La flotte maritime de navires réfrigérés est estimée à partir de la flotte mondiale, pour laquelle des statistiques sont disponibles. Au niveau mondial, le marché est équivalent à la production. Il est considéré, historiquement, qu'une part de 10 % peut être attribuée à la France [207].

Les marchés historiques (avant 2004) ont été reconstitués à partir des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207] et d'hypothèses sur les taux de croissance du sous-secteur. Les marchés des années plus récentes ont été estimés à l'aide de données disponibles sur le site MarineTraffic et des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207].

***Conteneurs frigorifiques***

Comme pour la flotte de navires réfrigérés, seules des statistiques mondiales étant disponibles, le marché national de conteneurs réfrigérés est supposé égal à 10 % du marché mondial.

Les marchés historiques et récents ont été estimés à partir des anciens rapports d'inventaires de fluides frigorigènes [207] et du Container Handbook [1115].

Le transport frigorifique par voie ferroviaire est peu développé en France. Compte tenu de la similarité des technologies utilisés, le transport ferroviaire réfrigéré est comptabilisé dans le parc total de conteneurs frigorifiques.

*Productions*

Les données de production des véhicules du transport routier frigorifique sont issues de communications du Cemafroid sur certaines années [207] et extrapolées sur 2017-2023.

Pour les reefers et les conteneurs frigorifiques qui sont traités à l'échelle mondiale, le marché est supposé égal à la production.

*Charge*

Concernant le transport routier, les charges sont estimées à partir des données issues d'enquêtes anciennes auprès de différents fabricants [207] et de communications récentes du Petit Forestier [1114].

Les charges des équipements du transport routier sont considérées constantes jusqu'en 2006 et, selon les communications des fabricants, en baisse progressivement depuis 2007.

**Tableau 126 : Evolution des niveaux moyens de charge nominale du transport frigorifique routier (en kg)**

| Charge de référence (kg) | Avant 2006 | 2010 | 2023 |
|---|---|---|---|
| Véhicules utilitaires réfrigérés légers | 2,5 | 2,2 | 2 |
| Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques | 7,2 | 6,6 | 6,6 |

Pour le transport maritime, les charges sont estimées à partir des anciens rapports [207]. Les charges des navires à cales réfrigérées sont supposées constantes jusqu'en 2000, année à partir de laquelle celles-ci diminuent largement avant de se stabiliser en 2010. On suppose une charge constante sur la toute la série temporelle pour les conteneurs réfrigérés.

**Tableau 127 : Evolution des niveaux moyens de charge nominale du transport frigorifique maritime**

| Charge de référence | Avant 2000 | Depuis 2010 |
|---|---|---|
| Reefers (t) | 4 | 1 |
| Conteneurs réfrigérés (kg) | 4,6 | 4,6 |

*Réfrigérants*

***Véhicules utilitaires réfrigérés légers***

Entre 1970 et 1990 on considère que l'ensemble du parc de véhicules utilitaires réfrigérés légers fonctionnaient au R-12. On estime qu'au début des années 1990, une transition s'opère vers des systèmes chargés au R-134a. Il est considéré dans l'inventaire que ce dernier est utilisé à 100 % dans les véhicules équipés de groupes de type « poulie-courroie » jusqu'au début des années 2000. Ces hypothèses ont été définies en prenant en compte le rapport RTOC de 1998 [1107], les anciens rapports d'inventaires des Mines [207] et de l'évolution de la législation internationale concernant les émissions de CFC.

A partir de 2003, le R-134a fait progressivement place à l'utilisation de R-404A qui devient prépondérant après 2010. L'augmentation de la part du R-404A dans ce sous-secteur atteint son maximum en 2015, puis diminue au profit du R-452A en 2016, du R744 en 2020 et du R-450A la même année. La répartition des fluides utilisés a été estimée sur la base :

- des données fournies par les anciens rapports des inventaires d'émissions des fluides frigorigènes [207], incluant des communications de Carrier et du Cemafroid,
- d'échanges avec Petit Forestier [1114],
- d'échanges avec l'European Partnership for Energy and the Environment [1116].

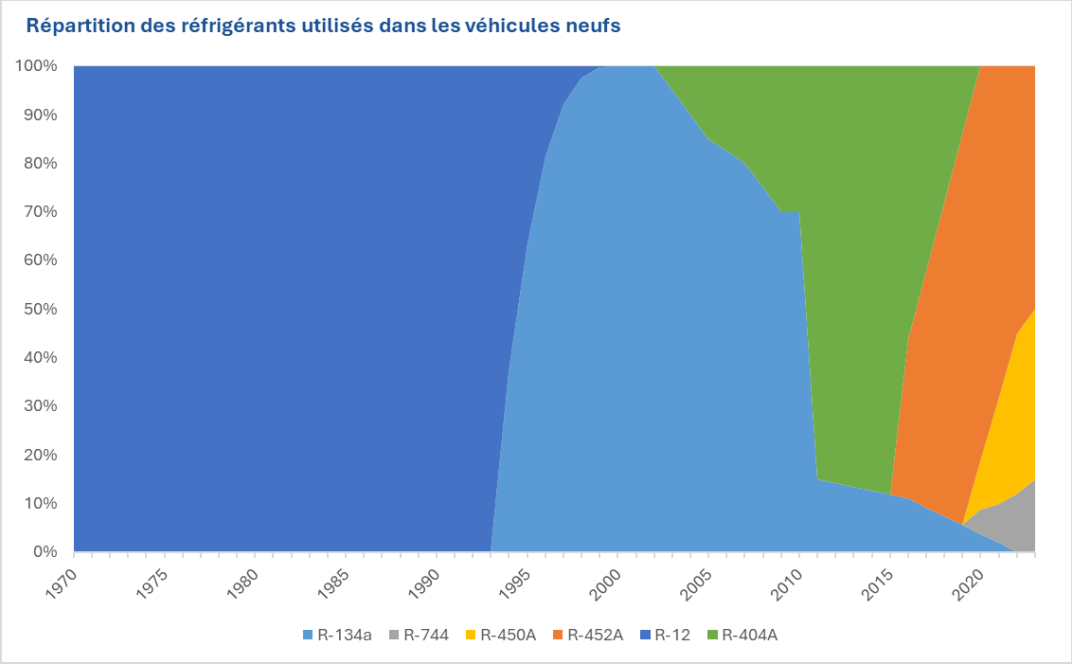



**Figure 116 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les véhicules frigorifiques utilitaires.**

***Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques***

Les hypothèses retenues jusqu'au milieu des années de 90 considèrent que les camions et semi-remorques frigorifiques étaient chargés au R-502 (principalement) et au R-22. Durant la dernière décennie du XX$^{ème}$ siècle, ces fluides ont petit à petit laissé leur place au R-404A dont l'utilisation est généralisée à tous les véhicules équipés de groupes frigorifiques autonomes de type « moteur thermique ». Ces hypothèses ont été définies en s'appuyant sur le rapport RTOC de 1998 [1107], les anciens rapports d'inventaires [207] des Mines et de l'évolution de la législation internationale.

Jusqu'en 2007, le R-404A est le seul fluide utilisé pour les camions et semi-remorques. L'année suivante, le R-134a est introduit à hauteur de 2 % et croit progressivement jusqu'à atteindre près de 15 % de présence à la fin des années 2010. Parmi les hypothèses retenues dans la construction de la courbe d'évolution des fluides frigorigènes utilisés, en se basant sur les tendances fournies par le Cemafroid, on considère que le R-452A apparait en 2016 et devient le fluide principal en 2020. En 2020, sont également introduits d'autres fluides à plus faible PRG, tels que le R-450A en remplacement du R-404A. La répartition des fluides utilisés a été estimée sur la base des mêmes éléments que pour les véhicules utilitaires légers.

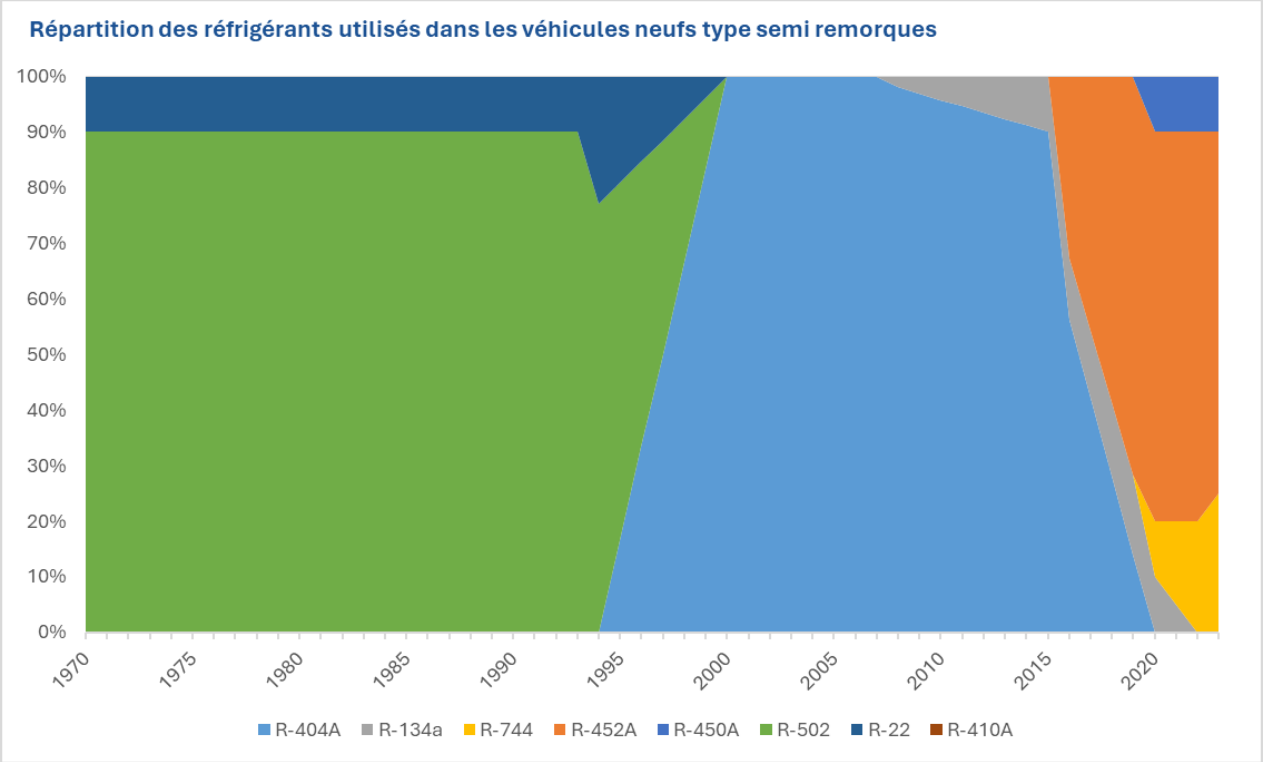



**Figure 117 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les camions frigorifiques semi-remorques**

***Reefers***

Entre 1970 et la fin 1999, le R-22 et le R-12 constituent les deux fluides utilisés dans les cales frigorifiques des navires, la part du R-12 diminuant rapidement sur les dernières années conformément aux données communiquées dans le rapport RTOC de 2002 [1117]. On considère que fluide disparait du parc français à la fin des années 1990.

Durant les 2 premières décennies du XX$^{ème}$ siècle, de nouveaux fluides viennent se substituer au R-12, notamment le R-404A, le R-410A et le R-717. On considère que la part de ce dernier croit régulièrement entre 2000 et 2020, grimpant jusqu'à 10 % de présence dans les reefers. On estime que la part des R-404A et R-410A croit également sur cette même période pour atteindre respectivement 30 % et 60 % en 2020. En parallèle, on considère que la présence du R-22 dans le parc diminue jusqu'à disparaitre en 2020. Sur 2020-2023 le R-404A n'est progressivement plus utilisé, au profit du R-717. Ces résultats reposent principalement sur les rapports RTOC et la prise en compte de l'évolution de la législation internationale.

***Conteneurs frigoriques***

Jusqu'en 1993, sur la base du rapport RTOC de 1998 [1107] on estime que l'ensemble des conteneurs frigorifiques sont chargés au R-12. On considère ensuite que ce fluide laisse rapidement sa place au R-134a (plus de 75 % en 1999), au R-22 (20 % en 1999) et au R-404A (presque 5 % en 1999). Ces hypothèses ont été définies en s'appuyant sur le rapport RTOC de 1998 [1107], les anciens rapports d'inventaires des Mines [207] et de l'évolution de la législation internationale.

Entre 2000 et 2003, le marché est partagé entre le R-134a, le R-22 et le R-404A. Cependant il semble que le R-22 disparaisse rapidement laissant le R-134a en position de fluide principal (plus de 95 % entre 2003 et 2011). Ce dernier est néanmoins en perte de vitesse depuis 2012 et ne représente que près de 20 % dans le marché français en 2020. Concernant le R-404A, l'hypothèse est faite qu'il occupe une part constante jusqu'en 2016 (3 %) avant de décroitre. En parallèle de la diminution de l'utilisation du R-134a, on prend en compte l'apparition de plusieurs autres fluides : le R-513A, le R-513B et le R-744.

**Facteurs d'émission**

*A la charge*

**Tableau 128 : Facteurs d'émission à la charge pour le transport frigorifique, en 2023**

| Année 2023 | Toutes applications |
|---|---|
| Facteur d'émission à la charge | 1 % |

Ces valeurs des facteurs d'émission à la charge sont issues des lignes directrices du GIEC de 1996 [1118] et de 2006 [1095] et considérés constants depuis 2006.

*Fugitif*

**Tableau 129 : Facteurs d'émission fugitive pour le transport frigorifique, par type d'équipement, en 2023**

| Année 2023 | VUL réfrigérés | Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques | Reefers | Conteneurs frigorifiques |
|---|---|---|---|---|
| Facteur d'émission fugitive | 17,5 % | 11,5 % | 15 % | 20 % |

***Véhicules utilitaires réfrigérés légers & Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques***

Depuis 2014, les facteurs d'émission du transport frigorifiques routier sont calculés sur la base de données communiquées par Petit Forestier [1114]. Les évolutions historiques ont été reconstituées à partir des données publiées dans [207].

***Reefers & Conteneurs frigorifiques***

Peu d'informations étant disponibles pour le transport maritime, les évolutions des facteurs d'émission sont estimées sur la base du rapport RTOC de 1998 [1107] et des anciens rapports d'inventaire [207]. Depuis 2016, les facteurs sont considérés constants : de 15 % pour les reefers et de 20 % pour les conteneurs.

*Fin de vie*

**Tableau 130 : Facteurs d'émission de fin de vie pour le transport frigorifique, par type d'équipement, en 2023**

| Année 2023 | VUL réfrigérés | Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques | Reefers | Conteneurs frigorifiques |
|---|---|---|---|---|
| Facteur d'émission de fin de vie | 30 % | 30 % | 60 % | 50 % |

Concernant le transport routier, la récupération des fluides est supposée débuter aux termes du règlement (CE) no 3093/9. L'évolution de la récupération est supposée suivre une courbe en S atteignant une valeur de 70 % en 2020. Ce niveau est à confirmer.

Pour le transport maritime, les courbes en S ont une évolution plus lente. Il est supposé que la récupération commence dans les années 1990 pour atteindre 40 % en 2020 pour les reefers et 50 % pour les conteneurs.

- ***Froid industriel***

**Structure du secteur**

Le secteur du froid industriel inclut principalement les installations centralisées de l'industrie agroalimentaire et celles dédiées au refroidissement de certains procédés industriels : chimie, pharmacie et caoutchouc. Il est considéré que le refroidissement des data centers est assuré au moyen de groupes refroidisseurs à eau et déjà comptabilisé dans le secteur des chillers. Plus généralement, une partie du froid industriel utilise des chillers pour assurer le refroidissement d'une partie du processus de production.

Il convient de souligner que le secteur du froid industriel est marqué d'une forte confidentialité et peu d'informations sont disponibles ou communiquées pour permettre d'améliorer l'estimation de ce secteur ou vérifier l'exhaustivité des procédés à prendre en compte. Cependant, une enquête de terrain a permis d'entamer une collaboration avec des fédérations du froid agroalimentaire, de l'industrie du lait et de la viande en particulier.

Ce secteur est actuellement décomposé en 9 sous-secteurs :

- L'industrie agroalimentaire de la viande,
- L'industrie agroalimentaire du lait,
- Les autres industries alimentaires,

- Les entrepôts réfrigérés,
- Les tanks à lait,
- Les patinoires,
- L'industrie chimique,
- L'industrie pharmaceutique,
- L'industrie du caoutchouc.

#### Généralités

*Modes de charge*

Les installations centralisées des entreprises agroalimentaires, entrepôts et procédés industriels sont chargées sur site.

*Modes de maintenance*

Les installations de froid industriel ont, le plus souvent, des charges élevées, rendant, en pratique, obligatoires plusieurs contrôles d'étanchéité par an. Il est considéré, dans les hypothèses du modèle, qu'une opération annuelle de maintenance a lieu, au cours de laquelle les quantités rechargées correspondent aux quantités perdues par émissions fugitives la même année.

*Durée de vie moyenne*

Les installations de froid industriel ont des durées de vie élevées, considérées de 20 ans en moyenne. Une courbe de durée de vie est construite de façon à prendre en compte une variabilité des durées de vie au sein d'un même millésime d'équipements.

#### Données d'activités

Pour les grandes installations de froid industriel, les besoins en froid peuvent être estimés à partir des productions et de ratios caractéristiques [207] :

- le ratio de charge en fluide frigorigène par kW (kg/kW) pour les systèmes à détente directe et pour les installations indirectes, en froid positif et en froid négatif ; ces ratios dépendent des systèmes et sont considérés communs à l'ensemble du froid industriel ;
- le ratio de puissance frigorifique nécessaire par tonnage produit (kW/t) ; ce ratio est propre à chaque sous-secteur de l'industrie agroalimentaire ou des procédés industriels et doit être affiné par l'enquête de terrain ;
- la part des systèmes indirects sur l'ensemble des installations (kW indirect/ kW total) ;

Ces ratios varient au cours du temps et permettent ainsi de prendre en compte la tendance à la réduction des charges moyennes et la pénétration croissante des systèmes indirects.

*Productions*

***Industrie Agroalimentaire (IAA)***

Les productions agroalimentaires sont estimées à partir des publications de la base de données de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) [1151]. Celles-ci sont mises à jour avec un certain délai et présentent 1 à 3 ans de décalage par rapport à l'année en cours, selon les productions.

Les productions agroalimentaires prises en compte sont celles de la viande, du lait et produits laitiers et les autres productions agroalimentaires (surgelés, poisson, chocolat, brasseries, pâtisseries et boissons gazeuses). Dans l'attente de données complémentaires issues de l'enquête de terrain, les productions agroalimentaires autres que celles de la viande et du lait ont été rassemblées en un seul sous-secteur « autres productions », les ratios caractéristiques n'ayant pas pu être revus.

***Entrepôts réfrigérés***

Les entrepôts frigorifiques sont distincts, dans le calcul, de l'industrie agroalimentaire même si une partie des entrepôts est utilisé par l'IAA (8 % en 2010).

**Figure 118 – Répartition des surfaces d'entrepôts frigorifiques en France – Insee 2012**

| | en milliers de m² | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Ensemble | Température | | |
| | | Positive | Négative | Mixte* |
| **Ensemble** | **11 648** | **6 501** | **1 026** | **4 120** |
| **IAA (yc agriculture)** | 925 | 438 | 299 | 187 |
| **Industrie** | 931 | 867 | 0 | 64 |
| **Commerce** | 4 337 | 2 197 | 99 | 2 041 |
| **Transports et entreposage (yc conditionnement)** | 4 943 | 2 591 | 628 | 1 724 |
| **Autres services** | 512 | 408 | 0 | 104 |

Source : SOeS, enquête entrepôts 2010

* Température mixte : à la fois positive et négative.

De même que pour l'industrie agroalimentaire, la donnée d'activité nécessaire au calcul est composée de la connaissance des surfaces totales et de différents ratios permettant d'aboutir à un ratio de charge moyen en kg/m$^3$ entreposé.

Il est considéré que la part des entrepôts ayant du froid négatif est d'environ 44 % (d'après le tableau précédent, Insee 2012), ce qui représente une forte évolution par rapport aux hypothèses des précédentes éditions d'inventaire où la part des entrepôts réfrigérés en froid négatif était supposée de 7 %.

L'évolution du volume d'entrepôts est estimée en fonction de différentes publications. Le niveau 2021 de la capacité d'entreposage frigorifique en France est estimé à 21 millions de m$^3$ réfrigérés d'après les données de l'USNEF (Union Syndicale Nationale des Exploitations Frigorifiques)

***Procédés industriels***

Cette catégorie inclut les sous-secteurs des procédés de l'industrie chimique, pharmaceutique et du caoutchouc. L'enquête n'a pas permis cette année d'avoir de nouvelles informations concernant les productions de l'industrie chimique et pharmaceutique, qui sont marquées d'une forte incertitude. Afin de pouvoir mettre à jour ce secteur, il a été intégré dans l'outil GF et les hypothèses ont été reconstituées à partir des résultats d'inventaire jusqu'en 2016 et des publications des rapports d'inventaires associées.

*Charge*

Dans le cas du froid industriel, la charge installée est estimée à partir du plusieurs ratios de charge selon la méthode utilisée historiquement dans [207]. On peut résumer l'ensemble de ces ratios à deux principaux :

- Un ratio de charge « équivalent », en kg/kW prenant en compte
  - les caractéristiques générales des systèmes à détente directe et des systèmes directs pour le froid positif et le froid négatif ;
  - la part du froid négatif dans la puissance totale (dans le cas de l'industrie laitière, par exemple, cette part est de 20 %) et l'évolution tendancielle de la part des systèmes indirects, propre à chaque type d'industrie agroalimentaire
- Un ratio traduisant le besoin en froid pour la production, en kW/t, caractéristique du procédé.

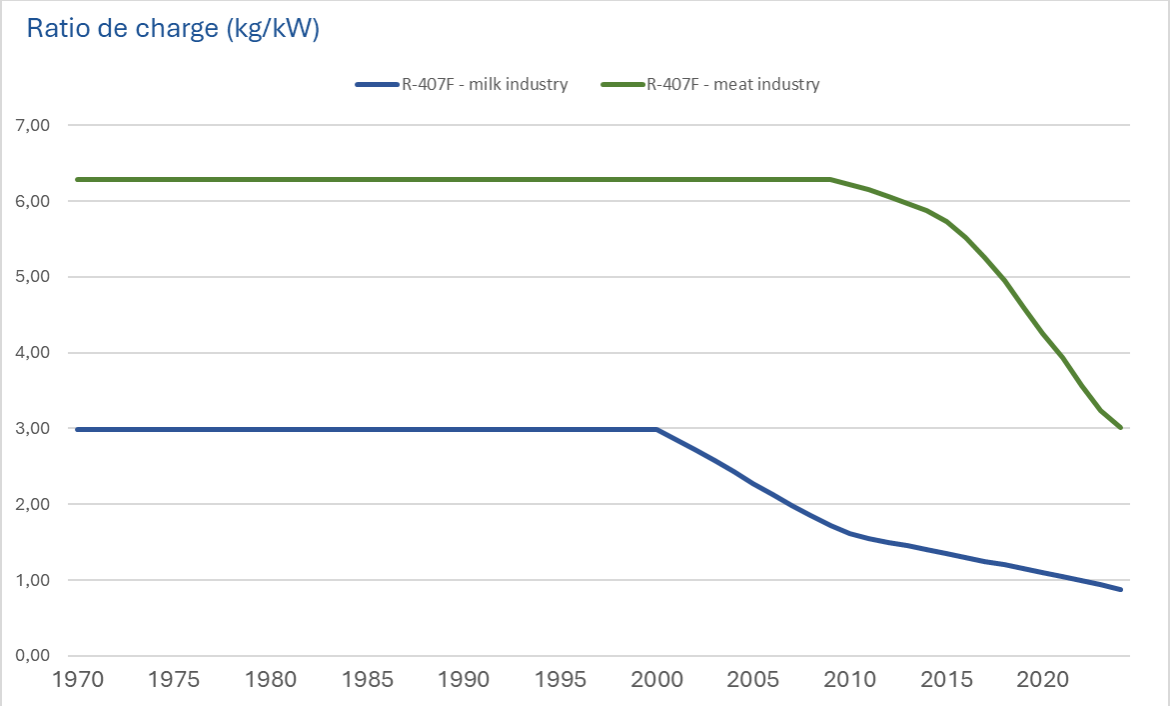
**Tableau 131 : Ratios caractéristiques pris en compte pour le calcul du froid industriel, selon le produit ou l'équipement**

| | Viande (kW/t) | Lait (kW/t) | Autres (kW/t) | Entrepôts (kW/m$^3$) | Tanks à lait (kg/m$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Besoin frigorifique pour la production | 0,044 | 0,013 | 0,044 | 0,032 | 0,91 |
| Part de froid négatif | 30 % | 20 % | 0 % | 40 % | 0 % |

Dans le cas des patinoires, une charge moyenne est prise en compte. Une décroissance est prise en compte sur l'historique de façon à prendre en compte la tendance aux systèmes indirects et la pénétration des patinoires mobiles, pour atteindre environ 300 kg par installation.

La figure suivante montre l'évolution du ratio de charge (kg/kW) dans le cas de l'industrie laitière et la correction apportée à la suite de l'enquête auprès des fédérations de l'industrie laitière en 2021. Une surestimation de la charge avait été prise en compte jusqu'à présent, l'enquête n'ayant pas été mise à jour depuis plusieurs années.

**Figure 119 – Ratio de charge équivalent – Exemple de l'industrie laitière et de l'industrie de la viande**




*Réfrigérants*

Les principaux fluides frigorigènes utilisés en agroalimentaire ont été, historiquement le CFC-12 et, plus largement le HCFC-22. A partir de 1995, le R-404A a progressivement remplacé le R-22 pour être le seul HFC utilisé de 2000 à 2008. Depuis 2008, l'introduction des systèmes de type cascade R-134a/$CO_2$ est pris en compte, et plus récemment, celle des systèmes $CO_2$ trans-critiques. La tendance est la même pour les entrepôts frigorifiques. L'ammoniac (R-717) a toujours été fortement utilisé en agroalimentaire, les retours de l'enquête de terrain menée en 2021 ont montré que la part de l'ammoniac dans les installations agroalimentaires, dans l'industrie du lait notamment, avaient été sous-estimées. Ce point a été corrigé sur l'historique.

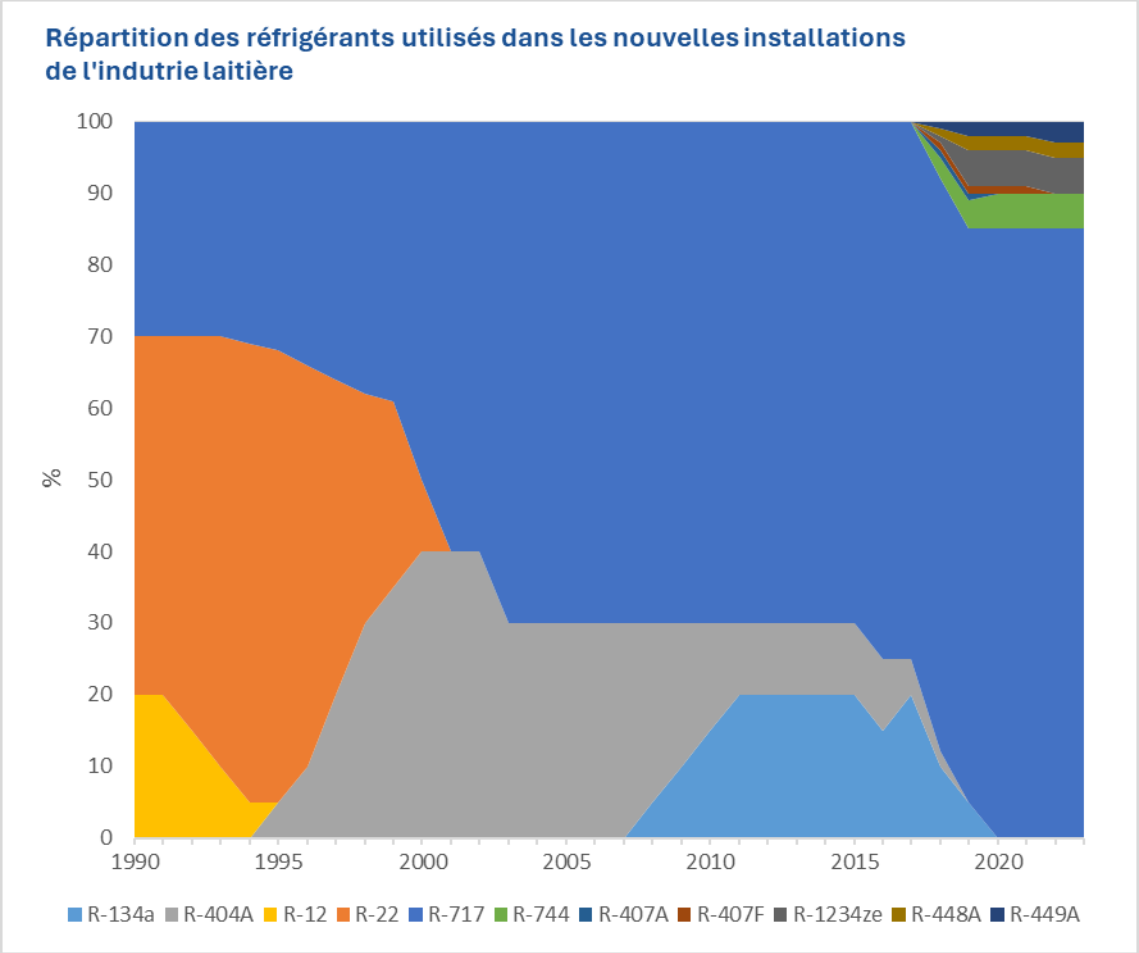



**Figure 120 – Répartition des fluides frigorigènes utilisés en agroalimentaire – exemple de l'industrie du lait**

Pour les tanks à lait, le R-404A a été progressivement remplacé par le R-449A depuis 2016. Dans les patinoires, le R-134a reste majoritaire devant l'ammoniac, le R-448A, le R-449A et le $CO_2$ sont progressivement utilisés.

### Facteurs d'émission

*Charge*

Les facteurs d'émissions sont issus des Lignes directrices du GIEC de 1996 [1118] et de 2006 [1095]. Pour les années antérieures à 1996 et les années après 2006, ils sont considérés constants.

**Tableau 132 : Facteurs d'émission à la charge pour le froid industriel, en 2023**

| Année 2023 | Toutes applications |
|---|---|
| Facteur d'émission à la charge | 1,5 % |

*Fugitif*

**Tableau 133 : Facteurs d'émission fugitive pour le froid industriel, par type d'application, en 2023**

| Année 2023 | Agroalimentaire | Entrepôts | Industrie chimique | Industrie pharmaceutique | Industrie caoutchouc | Tank à lait | Patinoires |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Facteur d'émission fugitive | 6 à 8 % | 13 % | 10 % | 10 % | 15 % | 8 % | 8 % |

***Industrie agroalimentaire et entrepôts***

Sur la base des hypothèses des anciennes études d'inventaires [207], les taux d'émissions fugitives sont supposés de 15 % jusqu'en 2005. A la suite de l'enquête de terrain, les facteurs d'émission fugitifs de l'industrie agroalimentaire ont été revus à la baisse, significative depuis 2010. Ils varient selon les secteurs, en fonction notamment de la part des systèmes indirects.

***Procédés industriels***

Excepté dans le cas de l'industrie du caoutchouc où les quantités utilisées pour la maintenance ont été régulièrement communiquées et les taux d'émissions élevés (jusqu'à 100 % en 2005), les taux d'émissions fugitives sont supposés de l'ordre de 15 % jusqu'en 2010 puis en décroissance selon une courbe en S, faute de communication plus précise.

*Fin de vie*

**Tableau 134 : Facteurs d'émission de fin de vie pour le froid industriel, par type d'application, en 2023**

| Année 2023 | Agroalimentaire | Entrepôts | Industrie chimique | Industrie pharmaceutique | Industrie caoutchouc | Patinoires | Tanks à lait |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Facteur d'émission de fin de vie | 5 % | 10 % | 5 % | 5 % | 10 % | 20 % | 30 % |

***Industrie agroalimentaire***

Sur la base des hypothèses des anciennes études d'inventaires [207], le début de la récupération en fin de vie est pris en compte à partir de 1993, pour atteindre 80 % en 2005 et 95 % en 2013, en considérant que la majorité des installations sont classées ICPE (Installations Classées Pour l'Environnement).

***Entrepôts***

Sur la base des hypothèses des anciennes études d'inventaires [207], le début de la récupération en fin de vie est pris en compte à partir de 1993, pour atteindre 70 % en 2005 et 80 % en 2013, et 90 % en 2020.

***Procédés industriels***

Dans ce secteur, les entreprises sont classées ICPE (Installations Classées Pour l'Environnement) et les installations sont entretenues de façon très stricte, ce qui explique les taux d'émissions de fin de vie particulièrement bas, considérés de 5 % depuis 2013.

***Patinoires et tanks à lait***

Dans ces secteurs, il est considéré qu'une part du parc d'installations n'est pas entretenu, ce qui pénalise le facteur moyen d'émission en fin de vie des équipements.

- ***Climatisation stationnaire***

**Structure du secteur**

La structure de ce secteur est basée sur celle des données statistiques disponibles. La structure utilisée par Uniclima [1129] qui fournit les données de marchés par type d'équipement, est utilisée dans l'inventaire.

Dans le rapportage des inventaires des émissions de GES au périmètre France UE, la climatisation à air est contenue dans le code « *Stationary air-conditioning* » avec les pompes à chaleur et un tiers des émissions des chillers.

***Climatisation à air***

Les équipements de climatisation à air peuvent se classer en deux sous-secteurs, distincts par leurs niveaux de puissance : celui de la climatisation individuelle (< 17,5 kW) et celui de la climatisation autonome (> 17,5 kW).

Ce secteur est composé de 9 sous-secteurs :

<u>* Climatisation individuelle</u>

- Climatiseur mobile (mobile) ;

- Climatiseur fenêtre (window) ;
- Mono-split (small split) ;
- Multi-split ;

* Climatisation autonome

- Armoires verticales (consoles) ;
- DRV (Débit Réfrigérant Variable);
- Systèmes splits centralisés (large split systems) ;
- Roof tops ;
- Armoires spéciales (cabinets).

***Chillers***

Le secteur est décomposé en quatre types de groupes refroidisseurs d'eau, distincts par leurs technologies de compresseurs et niveaux de puissance. Il existe

- D'une part les compresseurs centrifuges et,
- d'autre part, les compresseurs volumétriques qui sont divisés en trois sous-groupes en fonction de la puissance :
    - Petite puissance (< 50 kW) ;
    - Moyenne puissance (50 < P < 350 kW) ;
    - Forte puissance (> 350 kW).

***Pompes à chaleur (PAC) résidentielles***

Ce secteur est composé de 5 sous-secteurs :

- Les PAC Air/Eau ;
- Les PAC Sol/Sol ;
- Les PAC Sol/Eau ;
- Les PAC Eau/Eau ;
- Les chauffe-eaux thermodynamiques.

A noter : les pompes à chaleur air/air sont traitées avec les splits à air.

### Généralités

*Modes de charge*

Les équipements de climatisation peuvent être chargés en usine (lieux de production) ou sur site (lieux d'installation). Certains équipements, tels que les multi-splits ou les DRV, nécessitent un complément de charge lors de l'installation sur site. Le tableau ci-dessous dresse un état des lieux des différents modes de charges de ce secteur :

**Tableau 135 : Récapitulatif des modes de charge des équipements de la climatisation stationnaire**

| Secteur | Sous-secteur | chargé d'usine (dit *pré-chargé*) | chargé sur site | Complément de charge |
|---|---|---|---|---|
| **CHILLERS** | Centrifugal compressors | * | | |
| | Small chillers | * | | |
| | Mid-size chillers | * | | |
| | Large chillers | * | | |
| **AIR-TO-AIR AIR CONDITIONERS** | Small splits | * | | |
| | Multi-splits | * | | 50 % |
| | Large split systems (Central AC) | * | | 30 % |
| | Roof-top units | * | | |
| | DRV | * | | 80 % |
| | Mobiles | * | | |
| | Windows | * | | |
| | Consoles | | * | |
| | Cabinets | | * | |
| **HEAT PUMPS** | Air-to-water heat pumps | * | | |

| Secteur | Sous-secteur | chargé d'usine (dit *pré-chargé*) | chargé sur site | Complément de charge |
|---|---|---|---|---|
| | Water-to-water heat pumps | * | | |
| | Ground-to-water heat pumps | * | | |
| | Ground-to-ground heat pumps | * | | |
| | Heat pump water heaters | * | | |

*Modes de maintenance*

Au même titre que la charge, la maintenance nécessaire pendant la durée de vie des climatisations dépend du type d'équipement mis en place. Il n'y a pas de maintenance annuelle pour ces équipements qui subissent une opération de maintenance dès lors que la quantité de fluide réfrigérant contenue est en deçà d'un certain seuil. Par ailleurs, ces équipements ne nécessitent pas de décharge complète du fluide pendant la maintenance. Ces pratiques sont prises en compte dans les calculs des émissions liées à la maintenance des équipements. Les différentes hypothèses retenues, après entretiens avec des fabricants et experts du secteur [1130] par équipement sont listées ci-dessous :

**Tableau 136 : Récapitulatif des modes de maintenance des équipements de la climatisation stationnaire**

| Sector | Subsectors | Rythme de maintenance | Seuil |
|---|---|---|---|
| **CHILLERS** | Centrifugal compressors | selon seuil | 95 % |
| | Small chillers | selon seuil | 90 % |
| | Mid-size chillers | selon seuil | 90 % |
| | Large chillers | selon seuil | 90 % |
| **AIR-TO-AIR AIR CONDITIONERS** | Small splits | selon seuil | 90 % |
| | Multi-splits | selon seuil | 90 % |
| | Large split systems (Central AC) | selon seuil | 90 % |
| | Roof-top units | selon seuil | 80 % |
| | DRV | selon seuil | 80 % |
| | Mobiles | selon seuil | 10 % |
| | Windows | selon seuil | 70 % |
| | Consoles | selon seuil | 70 % |
| | Cabinets | selon seuil | 70 % |
| **HEAT PUMPS** | Air-to-water heat pumps | selon seuil | 90 % |
| | Water-to-water heat pumps | selon seuil | 90 % |
| | Ground-to-water heat pumps | selon seuil | 90 % |
| | Ground-to-ground heat pumps | selon seuil | 90 % |
| | Heat pump water heaters | selon seuil | 10 % |

➢ *Durée de vie moyenne*

La durée de vie moyenne des équipements provient des rapports d'inventaire d'émissions de fluides frigorigènes [207]. Celle-ci va influer sur le profil de la courbe de durée de vie. Le tableau ci-dessous en récapitule les valeurs :

**Tableau 137 : Durées de vie moyennes des équipements de la climatisation stationnaire**

| Sous-secteur | Durée de vie (ans) |
|---|---|
| Climatiseurs mobiles | 10 |
| Climatisation de fenêtre | 10 |
| Mono split | 15 |
| Multi split | 15 |
| Armoires verticales | 15 |
| DRV (Débit Réfrigérant Variable) | 15 |
| Large split | 15 |
| Roof top | 20 |
| Armoires spéciales | 15 |
| Chillers P < 50 kW | 15 |
| Chillers 50 < P < 350 kW | 15 |

| Sous-secteur | Durée de vie (ans) |
|---|---|
| Chillers P > 350 kW | 20 |
| Compresseur centrifuge | 25 |
| PAC Air/Eau | 15 |
| PAC Eau/Eau | 15 |
| PAC Sol/Eau | 15 |
| PAC Sol/Sol | 15 |
| CET | 15 |

### Données d'activités

*Marchés*

***Climatisation à air***

Pour la plupart des équipements, les marchés détaillés par gamme de puissance et par type de fluide frigorigène utilisé sont transmis par la fédération de fabricants Uniclima au Citepa, de façon confidentielle, chaque année depuis 2018.

Les marchés historiques (avant 2000) ont été reconstitués à partir :

- Des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes (édition 1999 notamment) pour la période 1993 – 1999 [207] ;
- D'hypothèses sur les taux de croissance par équipement avant 1993 ;
- D'informations des fabricants sur le début de mise sur le marché en France de certains équipements (notamment DRV et Rooftop).

Les données de marchés par équipements ont été communiquées par Uniclima [1129] pour les années les plus récentes (à partir de 2000 pour la majorité des équipements. La représentativité des adhérents d'Uniclima a donc été estimée à **92 %** à l'exception du sous-secteur des rooftops pour lesquels le marché national a été estimé directement. Pour ces derniers, les adhérents d'Uniclima ne sont pas assez représentatifs de ce sous-secteur (moins de la moitié du marché estimé) et les marchés français sont transmis par le fabricant Lennox à partir de 2015. Avant 2015, pour estimer le marché total français, le niveau de marché de 2015 de Lennox est utilisé avec les variations interannuelles des marchés Uniclima.

Remarque : l'ordre de grandeur de la représentativité donné par Uniclima a pu varier et être moins élevé par le passé. Cette incertitude implique potentiellement une légère sous-estimation du parc d'équipements dans l'inventaire.

Dans le cadre de cette édition d'inventaire, l'évolution du marché des climatiseurs mobiles a été revue depuis 2010, sur la base de la donnée confidentielle du marché 2023 transmise par le Gifam. Cela conduit à une augmentation du marché 2020 d'un facteur 6. Cela aura cependant peu d'impact sur les émissions étant donné les faibles charges de ces équipements et le passage aux hydrocarbures, progressivement de 2016 à 2020.

***Chillers (ou groupes refroidisseurs à eau)***

Chaque année, Uniclima communique au Citepa, de façon confidentielle, les marchés des chillers à compresseur volumétrique (condensation à eau, condensation à air et condensation par ventilateur centrifuge) par gamme de puissance (P < 7 kW ; 7 < P < 17,5 kW ; 17,5 < P < 50 kW ; 51 < P < 100 kW ; 101 < P < 200 kW ; 201 < P < 350 kW ; 351 < P < 500 kW ; 501 < P < 700 kW ; 701 < P < 900 kW ; P > 900 kW) et par type de fluide frigorigène, ce qui permet d'avoir des informations fines sur ce parc d'équipements en France.

Les marchés historiques (avant 2002) des chillers à compresseur volumétrique ont été reconstitués à partir :

- Des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes pour l'année 2002 (2001 étant estimé par la moyenne des marchés entre 2000 et 2002) [207] ;
- Du rapport RTOC 2002 pour l'année 1999 ;
- D'hypothèses sur le début du marché des chillers en France (pris en 1970) et le taux d'accroissement (supposé linéaire entre 1970 et 1999).

Les marchés des compresseurs centrifuges ont été estimés à l'aide des rapports d'inventaires des fluides frigorigènes pour 2000 et 2001 [207] et d'une estimation du taux d'accroissement pour les années antérieures (basée sur l'évolution des marchés entre 2001 et 2002).

Les données de marchés par type de chillers ont été communiquées par Uniclima [1129] pour les années les plus récentes (à partir de 2002). Celui-ci a été corrigé de 8 % pour tenir compte du fait que tous les acteurs du marché ne sont pas adhérents à la fédération. La représentativité des adhérents d'Uniclima a donc été estimée à 92 %, comme pour les équipements de climatisation à air.

Les marchés des compresseurs centrifuges proviennent des rapports d'inventaires de fluides frigorigènes [207]. Celui-ci se situe autour des 50 unités par an depuis le début des années 2000.

***Pompes à chaleur résidentielles***

Il est supposé que le marché des PAC a démarré en 1996. Les marchés historiques, avant 2002, proviennent de deux sources :

- De l'association française pour la pompe à chaleur [1131] ;
- Des rapports d'inventaires de fluides frigorigènes [207] ;

Avant 2002, l'AFPAC communique les marchés agrégés des PAC Air/Eau et géothermie. La répartition de 2002 entre PAC Air/Eau et PAC géothermique a été utilisée pour estimer ces marchés. Cette répartition est d'environ un tiers de PAC Air/Eau et deux tiers de PAC géothermique. A l'intérieur de la catégorie PAC géothermique, la répartition des marchés entre PAC Sol/Eau, PAC Eau/Eau et PAC Sol/Sol a été estimée sur la base des informations indiquées dans les rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207].

A partir de 2002, l'AFPAC distingue les marchés des PAC Air/Eau des marchés des PAC géothermiques.

Les marchés totaux des PAC Air/Eau proviennent donc directement des données de l'AFPAC jusqu'en 2013 où les marchés sont communiqués par Uniclima [1129] pour différentes gammes de puissance (les données de marché total entre Uniclima et l'AFPAC sont cohérents). Aucun facteur correctif n'est appliqué sur les marchés AFPAC, il est supposé être représentatif du marché français.

Les marchés par type de PAC géothermiques ont été reconstitués en utilisant les rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207] jusqu'en 2007 puis les données Uniclima à partir de 2008, les données de l'AFPAC servant à reboucler sur le marché total des PAC géothermiques.

Les données de marchés des chauffe-eaux thermodynamique sont également issues de l'AFPAC [1131] et d'Uniclima [1129]. Ce marché a démarré en 2008.

*Productions*

***Climatisation à air***

Les modes de charge des différents équipements de la climatisation à air déterminent le type de données d'activités à utiliser pour le calcul des émissions à la charge des équipements. En effet, pour les équipements chargés d'usine, les **productions d'équipements** seront utilisées en données d'entrées tandis que pour les équipements chargés sur site, la connaissance du **marché** permettra d'évaluer la demande en fluides frigorigènes pour les équipements neufs. De manière générale, les équipements de grandes puissances sont chargés sur site ou avec un complément de charge sur site et ceux de petites puissances en usine.

Le tableau suivant récapitule les modes de charge pour chaque équipement :

**Tableau 138 : Récapitulatif des modes de charge des équipements de la climatisation à air**

| Sous-secteur | Niveau de Puissance | Mode de charge |
|---|---|---|
| Climatiseurs mobiles | 1 kW < P < 2 kW | Chargé en usine |
| Climatisation de fenêtre | 2 kW < P < 3 kW | Chargé en usine |
| Mono split | P < 17,5 kW | Chargé en usine |
| Multi split | P < 17,5 kW | Chargé sur site + complément de charge sur site |
| Armoires verticales | P > 17,5 kW | Chargé sur site |
| DRV (Débit Réfrigérant Variable) | P > 17,5 kW | Chargé en usine + complément de charge sur site |
| Large split | P > 17,5 kW | Chargé en usine + complément de charge sur site |
| Roof top | P > 17,5 kW | Chargé en usine |
| Armoires spéciales | P > 17,5 kW | Chargé sur site |

Les productions annuelles en France par type d'équipement ne sont pas collectées par une fédération. Par conséquent, ces valeurs sont estimées sur la base de certaines hypothèses, en considérant :

- Des ratios de production d'équipements par rapport au marché (les valeurs sont extraites dans les rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207], ces ratios sont calculés sur l'année 2004 : 6 % du marché pour les

climatisations mobiles, 23 % pour les climatisations fenêtres, 6 % pour les mono-split, 10 % pour les multi-split et entre 127 % et 170 % pour les Rooftop suivant la période) ;

- Des communications de certains fabricants d'équipements (les DRV n'ont pas été fabriqués en France mais sont importés, les climatisations mobiles et fenêtres ne sont plus produites en France, hypothèse prise à 2010 pour les climatisations mobiles et 2017 pour les climatisations fenêtres).

***Chillers***

Les chillers sont chargés en usine. La donnée d'activité à prendre en compte est donc le nombre d'équipements produits par an, en distinguant les différents types de chillers (compresseur volumétrique vs compresseur centrifuge) ainsi que la puissance.

Le tableau suivant récapitule les modes de charge pour chaque équipement :

| Sous-secteur | Niveau de Puissance | Mode de charge |
|---|---|---|
| Chiller basse puissance | 50 kW < P | Chargé en usine |
| Chiller moyenne puissance | 50 kW < P < 350 kW | Chargé en usine |
| Chiller forte puissance | P > 350 kW | Chargé en usine |
| Compresseur centrifuge | | Chargé en usine |

Les productions annuelles par gamme de puissance en France ne sont pas collectées par une fédération. Par conséquent, ces valeurs sont estimées comme suit à partir de ratios de production d'équipements par rapport au marché et dépend de la période considérée et de la puissance des équipements.

***Pompes à chaleur***

A l'instar de certaines climatisations à air et des chillers, les PAC sont chargées d'usine. La donnée d'activité à prendre en compte est donc le nombre d'équipements fabriqués en France par an, en distinguant les différents types de PAC.

Le tableau suivant récapitule les modes de charge pour chaque équipement :

| Sous-secteur | Mode de charge |
|---|---|
| PAC Air/Eau | Chargé en usine |
| PAC Eau/Eau | Chargé en usine |
| PAC Sol/Eau | Chargé en usine |
| PAC Sol/Sol | Chargé en usine |
| CET | Chargé en usine |

Les productions annuelles en France ne sont pas collectées par une fédération. Par conséquent, ces valeurs sont estimées sur la base d'une information extraite du rapport d'inventaire des fluides frigorigènes [207] qui stipule que la production de PAC est équivalente à 10 % du marché excepté pour les PAC Air/Eau où elle et estimée à 30 % du marché (le taux initial de 60 % indiqué dans le rapport a été revu à la baisse).

**Toutes ces données concernant les productions françaises sont marquées d'une forte incertitude. Cependant, les émissions durant la fabrication des équipements sont très faibles par rapport aux émissions totales du secteur.**

*Charge*

Pour la plupart des équipements de climatisation à air et les pompes à chaleur, la charge moyenne est directement estimée en kg. Une distinction est faite en fonction du réfrigérant, de façon à prendre en compte, par exemple, la réduction de charge induite par l'utilisation du R-32. Pour certains équipements, tels que les splits, la charge est supposée avoir progressivement diminué à partir de 2002 suivant le modèle d'une courbe en S.

Pour les chillers, et certains équipements de climatisation à air dont les ventes sont connues par gamme de puissance, la charge est estimée en fonction des données fabricants du ratio kg/kW et de la puissance moyenne calculée en fonction des ventes par gamme de puissance pondérées par les puissances moyennes de l'intervalle considéré.

Pour 2023, les charges moyennes dans les différents équipements sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 139 : Niveaux de charge moyenne des équipements de climatisation stationnaire, en 2023 (en kg)**

| Sous-secteur | Charge moyenne (kg) en 2023 | Variation au cours du temps |
|---|---|---|
| Climatiseurs mobiles | 0,5 | Constante |
| Climatisation de fenêtre | 0,6 | Constante |
| Armoires verticales | 2,8 | Constante |
| Mono-split | 1,2 (R-32) | Décroissance en fonction d'un ratio de charge |
| Multi-split | 1,7 (R-32) | Décroissance en fonction d'un ratio de charge |
| Système split centralisé | 5 | Décroissance en S |
| Armoires spéciales | 18 | Constante |
| Rooftop | 13 (R-32) | Décroissance en fonction d'un ratio de charge |
| DRV (Débit Réfrigérant Variable) | 6,6 (R-32) | Décroissance en fonction d'un ratio de charge |
| PAC Air/Eau | 2,6 | Décroissance en fonction d'un ratio de charge |
| PAC Eau/Eau | 2,5 | Constante |
| PAC Sol/Eau | 15 | Constante |
| PAC Sol/Sol | 15 | Constante |
| CET | 0,5 | Constante |
| Chillers P < 50 kW | 7 (R-32) | Décroissance en fonction d'un ratio de charge |
| Chillers 50 < P < 350 kW | 26 (R-32) | Décroissance en fonction d'un ratio de charge |
| Chillers P > 350 kW | 145 (R-32) | Décroissance en fonction d'un ratio de charge |
| Compresseur centrifuge | 600 (R-32) | Constante faute de données |

Remarque : les charges moyennes estimées sont incluses dans l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 0,5 et 100 kg).

Les marchés disponibles par gamme de puissance utilisés pour les différents équipements sont communiqués par Uniclima et sont les suivants :

**Tableau 140 : Gammes de puissance des équipements de la climatisation stationnaire (en kW)**

| Sous-secteur | Gamme de puissance (kW) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mono-split | < 2,7 | 2,7 < P < 5 | 5 < P < 7 | 7 < P < 12 | 12 < P < 17,5 | |
| Multi-split | < 2,7 | 2,7 < P < 5 | 5 < P < 17,5 | | | |
| Rooftop | < 17 | 17 < P < 29 | 29 < P < 72 | 72 < P < 120 | > 120 | |
| VRV | 0 à 5 CV | 6 à 10 CV | 11 à 20 CV | 21 à 30 CV | 31 à 40 CV | 41 à 48 CV |
| Chiller basse puissance | < 7 | 7 < P < 17,5 | 17,5 < P < 50 | | | |
| Chiller moyenne puissance | 50 < P < 100 | 101 < P < 200 | 201 < P < 350 | | | |
| Chiller forte puissance | 351 < P < 500 | 501 < P < 700 | 701 < P < 900 | > 900 | | |

A noter que cette charge peut varier en fonction du type de réfrigérant, c'est le cas pour les rooftop. Par exemple, selon des données fabricant, la charge moyenne de R-410A dans un rooftop est de 17 kg alors qu'elle est de 26 kg pour le R-407C. De même, ce ratio continue à diminuer avec le R-32 (environ 15 kg). Cette particularité a été prise en compte dans les calculs en distinguant la part des réfrigérants installés dans les nouveaux équipements au cours du temps.

- Cas avec complément de charge :

Certains équipements chargés d'usines nécessitent un complément de charge sur site. C'est notamment le cas des large-splits, des multi-splits et des VRV.

Pour les VRV, ce complément de charge varie en fonction de la puissance de l'équipement et a été calculé à partir des données d'un fabricant. Un complément de charge d'environ 78 % de la charge initiale a été calculé. Ce complément de charge est supposé constant pour toutes les années.

Pour les multi-splits, un complément de charge de 50 % est pris en compte dans les calculs, 30 % pour les large splits.

*Réfrigérants*

La réglementation (UE) N°517/2014 impose par ailleurs une interdiction de mise sur le marché des équipements de type splits dont le PRG > 750 à partir de 2025 et une interdiction des « climatisations portables » dont le PRG > 150 à partir de 2020.

***Climatisation à air***

Les transitions CFC vers HCFC puis HFC ont été prises en compte en fonction des informations sur la répartition des réfrigérants entre 1970 et 1990 issues d'avis d'expert : une répartition 50%/50% est considérée en 1970 entre le R-12 et le R-22, puis 20 %/80 % en 1980 entre le R-12 et le R-22, et l'intégralité du marché des nouveaux équipements au R-22 à partir de 1990. Le rapport RTOC (édition 2002) indique que presque tous les équipements de climatisation à air utilisaient du R-22 avant 2000. Ainsi, entre 1990 et 1999, il est considéré dans l'inventaire que 100% des équipements mis sur le marché ont utilisé du R-22. Le RTOC (édition 2002) indique par ailleurs qu'en Europe le R-407C a été utilisé au début principalement comme substitut du R-22, puis le R-410A. Ainsi, pour la majorité des équipements, l'hypothèse faite dans les inventaires, est un arrêt total du R-22 dans les nouveaux équipements à partir de 2002 avec un démarrage du R-407C en 2001.

Pour les années récentes (à partir de 2001), les données de réfrigérant ont été communiquées par Uniclima [1129] pour les années les plus récentes (à partir de 2000 pour la majorité des équipements). Toutefois, la donnée exploitée ne correspond pas à des quantités de réfrigérants par équipement mis sur le marché mais à un nombre d'équipement contenant un certain type de réfrigérant. Cette information pourrait toutefois être exploitée dans les années futures avec des données Uniclima plus précises. Ces données annuelles ont été transmises pour les équipements suivants :

- Mono-split ;
- Multi-split ;
- Large split ;
- Rooftop ;
- VRV.

Pour les autres équipements, les réfrigérants utilisés sont récupérés dans les différents rapports d'inventaire de fluides frigorigènes (de 1999 à 2016) [207] et sont linéarisés en cas de manque d'information. A partir de 2017, les données sont estimées sur la base des tendances des années précédentes.

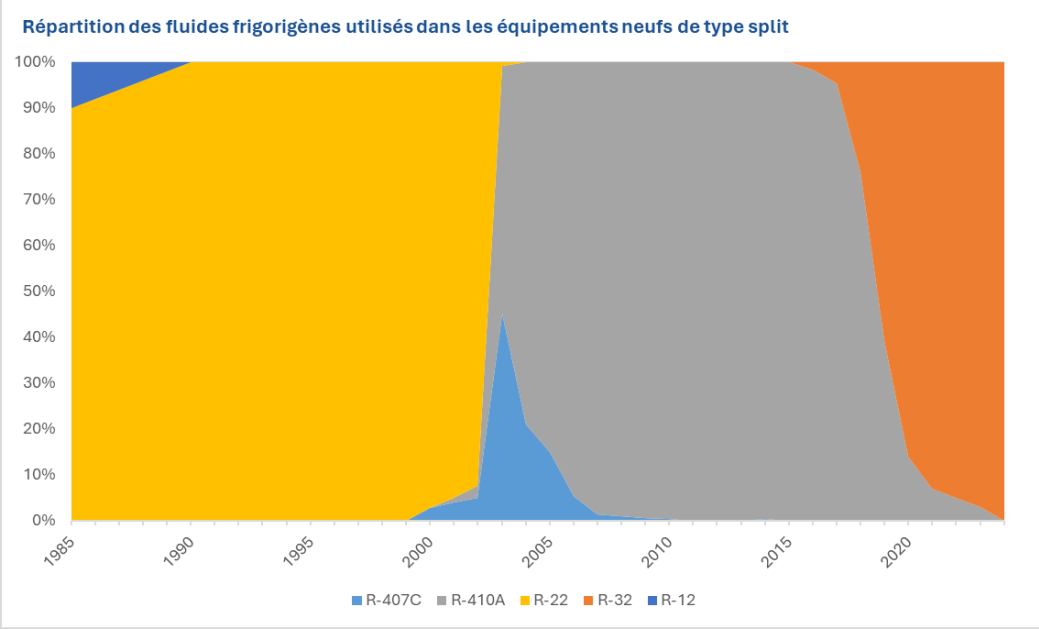



**Figure 121 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes splits**

***Chillers***

Pour les chillers à compresseur volumétrique forte puissance (P > 350 kW), les informations sur la répartition des réfrigérants proviennent du rapport RTOC 1998 qui indique que la part du R-134a est équivalente à celle du R-22. Il a été supposé que l'année du démarrage du R-134a est 1995. Pour les chillers à compresseur volumétrique de faible et moyenne puissance, les données entre 1970 et 1990 sont issues d'avis d'expert : une répartition moitié/moitié est considérée en 1970 entre le R-12 et le R-22, 20 %/80 % en 1980 respectivement pour le R-12 et le R-22, et l'intégralité du marché des nouveaux

équipements au R-22 est considérée à partir de 1990. Pour les compresseurs centrifuge, les données sont tirées des résultats inventaires de fluides frigorigènes (répartition 70 %/30 % respectivement entre le R-12 et le R-11 de 1970 à 1985 puis apparition du R-22 toutefois mineure à environ 10 %).

L'arrêt d'utilisation du R-22 dans les équipements de climatisation est lié à la règlementation européenne 2037/2000 qui, selon la puissance frigorifique des équipements de climatisation/chillers et pompes à chaleur, prévoit un arrêt de production des équipements aux HCFC entre 2000 et 2004. Ainsi, pour les chillers de forte puissance, il a été supposé une production nulle des nouveaux équipements mis sur le marché avec du R-22 à partir de 2000, et 2003 pour les chillers de faible et moyenne puissance. Les réfrigérants de remplacement dans la gamme des petites et moyennes puissances ont été le R-407C et le R-410A, alors que le R-134a a été utilisé pour les chillers de forte puissance en plus du R-407C. La répartition entre le R-407C et le R-410A et leur année de démarrage a été faite en fonction des informations récupérées dans les rapports RTOC et à l'aide des données Uniclima (faisant apparaitre beaucoup plus de R-407C que de R-410A en 2002).

Pour les années les plus récentes (à partir de 2002), des données globales ont été communiquées par Uniclima et traitées en tenant compte du fait que :

- Le R-134a est utilisé uniquement dans les chillers de forte puissance (d'après les rapports d'inventaire des fluides frigorigènes) ;
- Une répartition identique des réfrigérants est utilisée pour les chillers de faible puissance et pour les chillers de moyenne puissance ;
- En 2018, l'apparition de nouveaux fluides à bas PRG s'est accrue, il a été considéré qu'ils sont utilisés dans les chillers de forte puissance, à répartition égale entre le R-32 (PRG = 750) et le R-1234ze (PRG = 1).

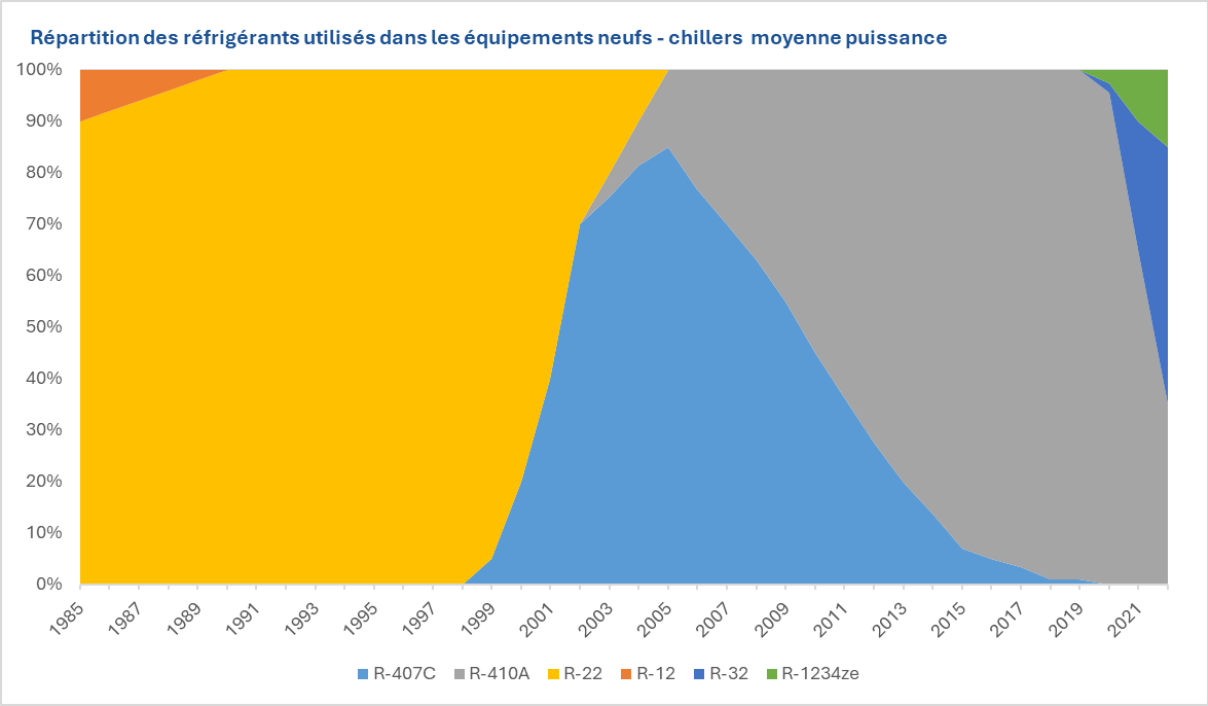



**Figure 122 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les chillers de type volumétrique de moyenne puissance**

Pour les compresseurs centrifuge, les données sont tirées des résultats inventaires de fluides frigorigènes : il est considéré une augmentation progressive du R-134a à partir de 1992 pour atteindre 100 % du marché des nouveaux équipements en 1999. Le R-1234ze a été introduit sur le marché neuf à partir de 2015 puis le R-1233zd à partir de 2020.

***Pompes à chaleur (PAC)***

Le R-22 a été exclusivement utilisé dans les pompes à chaleur avant les années 2000. La réglementation n°2037/2000 interdit la production d'équipement au R-22 à partir du 1er janvier 2004 pour les PAC. Pour toutes les PAC, il a été supposé un arrêt sur deux ans à partir de 2002 et que le R-22 n'est plus utilisé depuis 2004 dans les nouveaux équipements mis sur le marché. Les données sur les

réfrigérants utilisés proviennent d'Uniclima à partir de 2006 pour les PAC Air/Eau et à partir de 2008 pour les PAC géothermiques. Avant ces dates, les données proviennent des rapports d'inventaire de fluides frigorigènes. Depuis 2018-2019, le R-32 commence à être introduit et, dans une plus faible mesure, le R-290.

Pour les Chauffe-Eau Thermodynamiques (CET), seul le R-134a semble avoir été utilisé jusqu'en 2015 d'après les rapports d'inventaire de fluides frigorigènes. Le R-290 a été introduit en 2015 puis, plus récemment, le R-513A et le R-32.

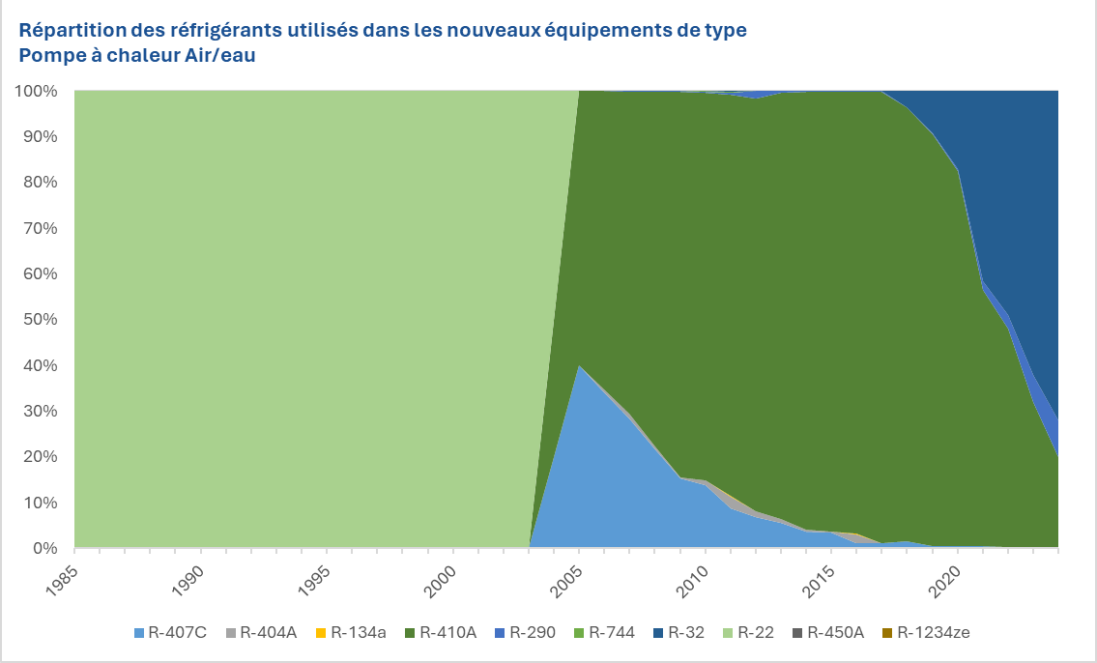



**Figure 123 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les pompes à chaleur air/eau**

### Facteurs d'émission

*Charge*

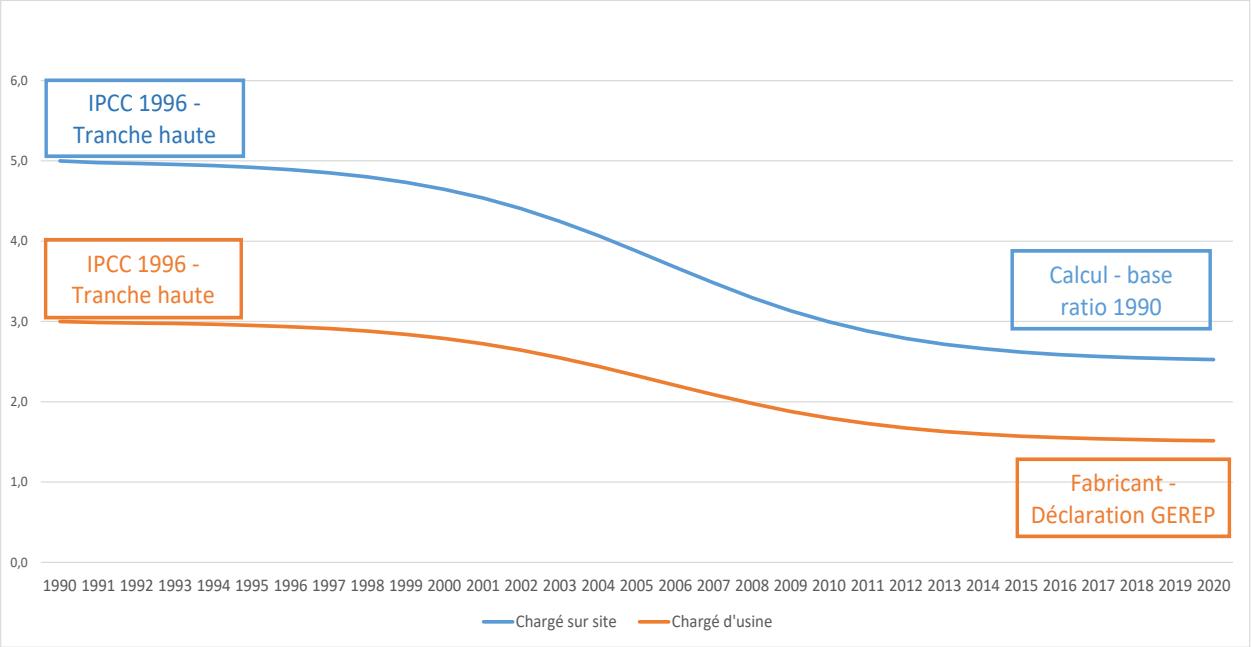
Pour estimer les facteurs d'émission à la charge, on distingue si les équipements sont chargés d'usine ou sont chargés sur site.

Les facteurs d'émission à la charge sont supposés évoluer selon une courbe en S. Celle-ci a été modélisée pour les deux modes de charges à partir d'une valeur seuil à atteindre à l'horizon 2015 afin de prendre en compte l'amélioration continue des pratiques et maitrises des charges d'équipements. La valeur asymptotique estimée pour l'année 2015 a été calculée à partir des données d'un producteur d'équipements en France (équipement chargé d'usine). Le taux de perte calculé est de l'ordre de 1,5 %. Cette valeur est conservée pour les années suivantes. Pour estimer le facteur d'émission des équipements chargés sur site en 2015, on utilise un ratio similaire entre les facteurs d'émission des équipements chargés sur site et chargés d'usine de 1990. Le taux de perte calculé est ainsi d'environ 2,5 %.

Ces taux d'émission à la charge pourraient être encore affinés en prenant en compte d'autres producteurs d'équipements en France et en les faisant évoluer annuellement sur la base des déclarations des exploitants dans GEREP.

Remarque : les facteurs d'émission calculés montrent des valeurs supérieures à l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 0,2 et 1 %).

**Figure 124 : Facteur d'émission à la charge (en %)**




*Fugitif*

Les taux d'émission pendant le fonctionnement de l'équipement sont supposés évoluer selon une courbe en S basée sur un niveau de référence de 1990 et sur un niveau asymptotique atteint vers 2016.

***Climatisation à air***

Pour la majorité des équipements de climatisation, le facteur d'émission utilisé en 1990 provient de la tranche haute des Lignes directrices du GIEC 2006 (10 %). Cette valeur est également utilisée pour les années antérieures à 1990. Les valeurs utilisées pour l'année 2016 varient en fonction du type d'équipement et sont extraites du rapport d'inventaire des fluides frigorigènes. A noter que le facteur d'émission de certains équipements commence sa décroissance à partir de 2001 (multi-split, console, cabinet).

Pour les climatisations mobiles et les climatisations « fenêtres », un taux d'émission constant et égal à 2 % est pris en compte dans les calculs.

Remarque : il a été vérifié que les hypothèses concernant les facteurs d'émission appartiennent bien à l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 1 et 10 %).

***Chillers***

Pour tous les équipements, le facteur d'émission utilisé en 1990 provient de la tranche haute des Lignes directrices du GIEC 2006 (15 %). Cette valeur est également utilisée pour les années antérieures à 1990. Les valeurs utilisées pour l'année 2016 varient en fonction du type d'équipement et sont extraites du rapport d'inventaire des fluides frigorigènes. On suppose que les taux d'émission pour les chillers à compresseur volumétrique de faible (< 50 kW) et moyenne puissance (50 < P < 350 kW) sont identiques.

Remarque : les facteurs d'émission estimés pour les années récentes sont inclus dans l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 2 et 15 %).

***Pompes à chaleur***

Pour tous les équipements, le facteur d'émission utilisé en 1990 provient de la tranche haute des Lignes directrices du GIEC 2006 (10 %). Cette valeur est également utilisée pour les années antérieures à 1990. Les valeurs utilisées pour l'année 2016 varient en fonction du type d'équipement et sont extraites du rapport d'inventaire des fluides frigorigènes.

Remarque : les facteurs d'émission estimés pour les années récentes sont inclus dans l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 1 et 10 %) à l'exception des CET pour qui le même facteur d'émission que les équipements de réfrigération domestique est appliqué (0,01 %).

**Figure 125 : Facteur d'émission pendant la durée de vie – climatisation fixe (en %)**

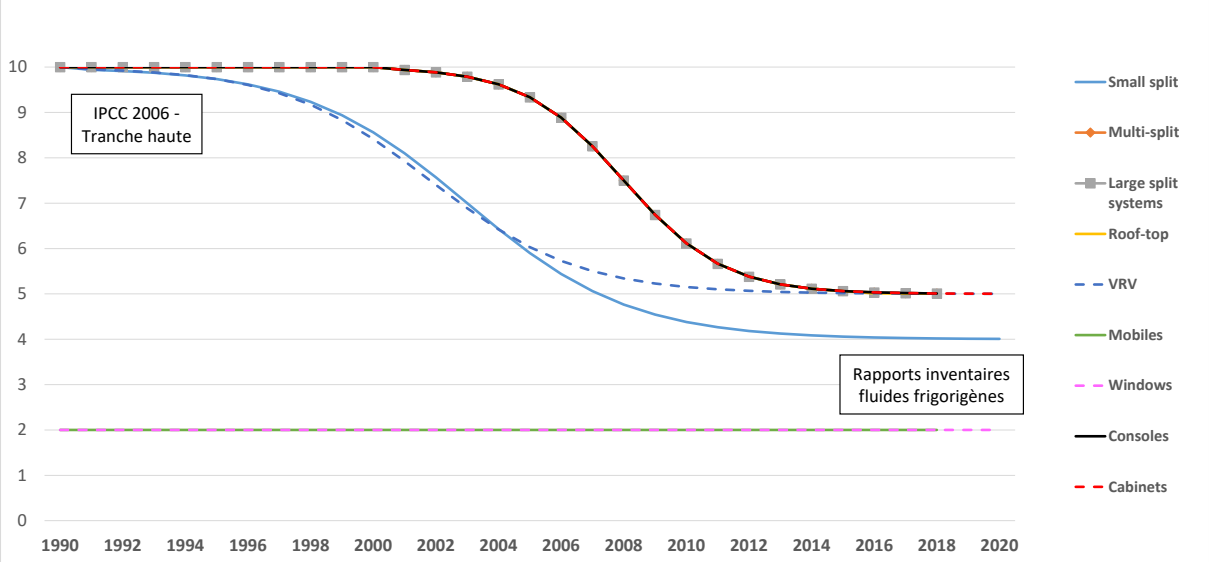



**Figure 126 : Facteur d'émission pendant la durée de vie – chillers (en %)**

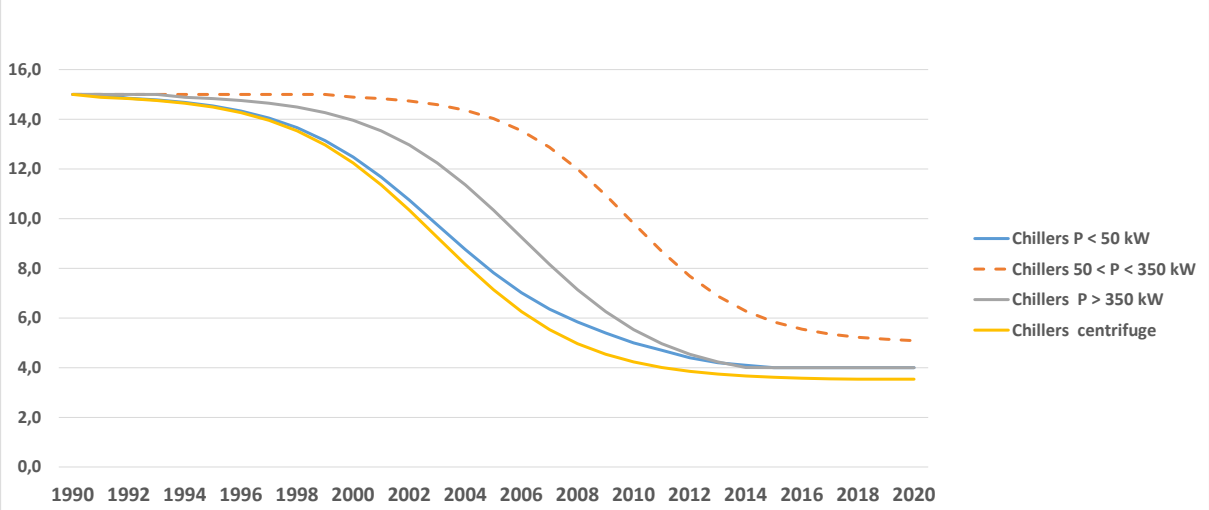


**Figure 127 : Facteur d'émission pendant la durée de vie – pompe à chaleur (en %)**




*Fin de vie*

Les émissions en fin de vie des équipements dépendent des quantités de fluide frigorigène présentes dans l'équipement quand il atteint sa fin de vie et d'un facteur d'émission fin de vie traduisant l'efficacité des filières de récupération. A noter, dans le cadre de l'amélioration de la méthode de calcul, la charge réelle de l'équipement est calculée au cours de sa durée de vie, tenant compte des occurrences de maintenance, permettant de ne pas surestimer les émissions de fin de vie, la charge de fin de vie tenant compte des émissions fugitives d'étant produites les années précédentes.

Quatre courbes d'évolution sont proposées afin de prendre en compte au mieux les pratiques de récupération des fluides dans les divers équipements. Ces courbes sont établies de manière identique sur la base d'une courbe en S comportant une année de démarrage de la récupération et une année asymptotique projetée à l'horizon 2030. Ils diffèrent en fonction du type d'équipement étudié.

- Modèle 1 :

Ce modèle est représentatif des climatisations domestiques qui sont gérées par la filière DEEE créée en 2003. Les particuliers doivent faire récupérer et traiter leurs équipements en fin de vie par ces organismes. Les équipements concernés par ce modèle sont les climatisations de type mobiles et fenêtres. Les PAC sont également incluses dans ce modèle.

Hypothèses de ce modèle :

- Année de démarrage : 2006 (année des premiers retours de la filière de récupération) ;
- Taux de récupération estimé en 2030 : 60 %.

- Modèle 2 :

Ce modèle est représentatif des climatisations utilisées dans le résidentiel/tertiaire et pour lesquelles un technicien intervient pour le remplacement de l'équipement en vue de l'envoyer en filière DEEE. Les équipements concernés par ce modèle sont les climatisations de type console, cabinet, mono-split et multi-split.

Hypothèses de ce modèle :

- Année de démarrage : 2006 (année des premiers retours de la filière de récupération) ;
- Taux de récupération estimé en 2030 : 80 %.

- Modèle 3 :

Ce modèle est représentatif des grosses climatisations utilisées dans le tertiaire et pour lesquelles les interventions sont faites par les industriels. Les équipements concernés par ce modèle sont les climatisations de type VRV, rooftop et large split. Les chillers basse, moyenne et haute puissance sont également supposés suivre ce modèle.

Hypothèses de ce modèle :

- Année de démarrage : 1992 (correspond aux accords signés par la filière du froid avec le ministère et l'ADEME pour la récupération des fluides des équipements en fin de vie.) ;
- Taux de récupération estimé en 2030 : 90 %.

➢ Modèle 4 :

Ce modèle est représentatif des équipements utilisés dans les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Les équipements concernés par ce modèle sont les compresseurs centrifuge.

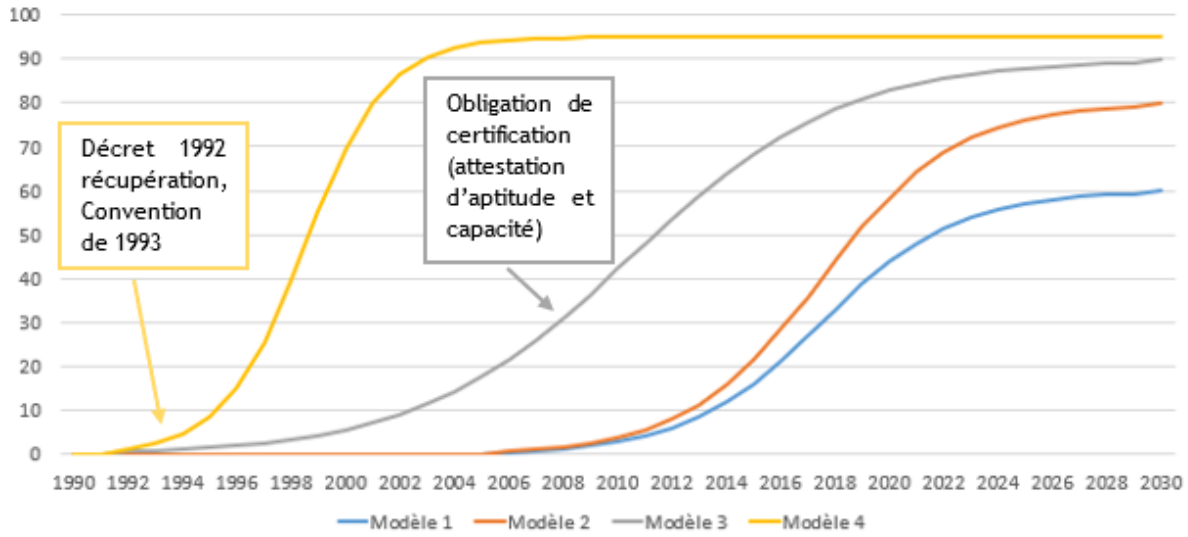
Hypothèses de ce modèle :

- Année de démarrage : 1992 (correspond aux accords signés par la filière du froid avec le ministère et l'ADEME pour la récupération des fluides des équipements en fin de vie.) ;
- Taux de récupération estimé en 2030 : 98 %.

Le tableau ci-dessous résume les différentes caractéristiques des modèles :

| Modèle | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Année début de la récupération en France | 2006 | 2006 | 1992 | 1992 |
| Estimation part de récupération horizon 2030 | 60 % | 80 % | 90 % | 98 % |
| Equipements considérés | Mobiles<br>Windows<br>PAC | Consoles<br>Cabinets<br>Small split<br>Multi-split | Chillers<br>VRV<br>Roof-top<br>Large split system | Compresseur centrifuge |

**Figure 128 : Efficacité de récupération (en %)**




- ***Froid commercial***

**Structure du secteur**

Le secteur du froid commercial est scindé en quatre sous-secteurs. Chacun de ces sous-secteurs regroupe des commerces dotés d'équipements de taille et de structure d'installations différentes.

- Le sous-secteur des hypermarchés regroupe les commerces de détail non spécialisés à prédominance alimentaire en magasin d'une surface de vente égale ou supérieure à 2 500 $m^2$.
- Les supermarchés regroupent les commerces de détail non spécialisés à prédominance alimentaire en magasin d'une surface de vente comprises entre 400 $m^2$ à 2 500 $m^2$.
- Le sous-secteur des groupes de condensation, système frigorifique de certains équipements (ex : chambre froide) des petits commerces.

- Les groupes hermétiques équipant certains équipements (ex : armoire réfrigérée) des petits commerces incluant les distributeurs automatiques.

Les super et hypermarchés sont équipés d'une salle des machines comportant deux séries de centrales frigorifiques, l'une dit de froid positif (entre - 10°C et -15°C) pour la conservation des produits frais et l'autre dit de froid négatif (aux environs de -35°C à -38°C) pour les produits surgelés. Il est à noter que 80 % de la puissance frigorifique et 75 % des charges de fluides se trouvent dans les centrales de froid positif.

Les « petits commerces » sont équipés de groupes de condensation ou de groupes hermétiques. Ces équipements sont utilisés dans les commerces alimentaires de détail, du spécialiste alimentaire à la supérette. Compte tenu de la similarité des équipements utilisés dans les bars, les hôtels et restaurants et les stations-services, ceux-ci sont rattachés aux petits commerces. Les distributeurs automatiques de boissons réfrigérées sont également pris en compte. Les magasins de type « Drive » sont également considérés dans l'inventaire. Enfin, concernant les maxi-discomptes dont les surfaces de vente réfrigérées sont nettement inférieures à celles des supermarchés, leurs installations frigorifiques s'apparentent à celles des supérettes.

| Groupe - supérettes | Groupe - petits commerces spécialisés | Groupe - drives | Groupe - distributeurs automatiques |
|---|---|---|---|
| Maxi-discomptes<br>Supérettes<br>Surgelés | Alimentation générale<br>Bars, Hôtels, Restaurants<br>Boulangeries pâtisseries<br>Boucheries charcuteries<br>Poissonneries<br>Primeurs<br>Stations-services | Magasins drives | Distributeurs automatiques réfrigérés |

### Généralités

*Modes de charge*

Les équipements de production de froid dans les commerces alimentaires de détail sont principalement chargés sur site sauf les groupes hermétiques qui sont chargés dans les usines de production des armoires et vitrines frigorifiques. Faute de données, on estime que la production des groupes hermétiques sur le territoire national est équivalente au marché.

*Modes de maintenance*

Etant donné les contraintes réglementaires impactant les équipements de plus de 300 kg, il est pris en compte au moins une maintenance annuelle pour les supermarchés et les hypermarchés. En revanche pour les petits commerces, on considère que la maintenance intervient dès lors que la quantité de fluide réfrigérant contenu est en deçà d'un certain seuil, excepté pour les groupes hermétiques pour lesquels il est considéré qu'il n'y a pas de maintenance, le taux d'émissions étant quasi nul. Par ailleurs, ces équipements ne nécessitent pas de décharge complète du fluide mais généralement un complément de charge au cours de l'opération de maintenance. Ces pratiques sont prises en compte dans les hypothèses de calcul des émissions liées à la maintenance des équipements. Les différentes hypothèses retenues par équipement sont listées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 141 : Hypothèses liées à la maintenance des équipements du secteur du froid commercial**

| Sous-secteur | Rythme de maintenance | Seuil | Décharge complète lors de la maintenance |
|---|---|---|---|
| Hypermarchés | annuelle | - | non |
| Supermarchés | annuelle | - | non |
| Groupes de condensation | selon seuil | 70 % | non |
| Groupes hermétiques | selon seuil | 5 % | non |

*Durée de vie moyenne*

L'hypothèse de durée de vie moyenne des équipements est estimée sur la base des rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207] et les lignes directrices de 2006 du GIEC [1095]. Celle-ci va influer sur le profil de la courbe de durée de vie. Pour tous les sous-secteurs du froid commercial, le renouvellement des installations des magasins est pris en compte en considérant une durée de vie des équipements de 15 ans.

### Données d'activités

*Marchés*

***Hypermarchés***

Les quantités de fluides utilisées dans les hypermarchés sont estimées en fonction du parc de magasins. On fait l'hypothèse d'un ratio moyen de charge en fluide en kg/m$^2$ que l'on associe aux nouvelles surfaces d'hypermarchés en France en considérant un renouvellement de 15 ans des équipements.

Afin de reconstituer l'évolution du parc depuis 1970, plusieurs sources de données ont été considérées. Entre 1970 et 1980, diverses sources sont prises en compte et notamment une communication du groupe Nielsen [1119]. Entre 1980 et 2004 le parc utilisé dans l'inventaire reflète les données publiées par l'INSEE [1120], [1121], [1122], [1123]. Pour les données plus récentes (depuis 2007), le parc d'hypermarchés est construit à partir de la base de données de l'ACOSS, la caisse nationale des URSSAF recensant entre autres les différents types de commerces alimentaires de détail par code NAF [1124]. Les années manquantes pour lesquelles les informations sont indisponibles, sont estimées par interpolation.

***Supermarchés***

La méthode de calcul des quantités de fluides utilisés dans les supermarchés et similaire à celle présentée pour les hypermarchés.

Entre 1970 et 1992, le parc est reconstitué à l'aide des mêmes sources. Entre 1994 et 2016, les inventaires des Mines sont utilisés comme référence [207]. Enfin, le parc de supermarchés considéré en 2018 est issu d'une communication avec le LSA [1125], et celui de 2019-2020 est issu d'une communication avec Perifem [1126].

***Groupes de condensation***

La banque de fluide frigorigènes dans les groupes de condensation des « petits commerces » est calculée en fonction des charges moyennes par type d'équipement et l'évolution du parc de magasins. Une charge moyenne par type de magasin (supérettes, drives, etc.) est estimée selon les résultats d'études de terrain réalisées par l'Ecole des Mines et dont les résultats sont détaillés dans les rapports d'inventaires [207].

Le parc de petits commerces, de supérettes, de magasins drive et de distributeurs est reconstitué, entre autres, à partir des rapports des Mines [207], de la base de données de l'ACOSS [1124], de sites retraçant l'évolution de divers secteurs du commerce alimentaire de détail et des bases de données de l'INSEE [1120], [1121], [1122], [1123].

***Groupes hermétiques***

La même méthode que pour les groupes de condensation est appliquée aux groupes hermétiques. La charge moyenne par type de magasin (supérettes, drives, etc.) est estimée sur la base d'études de terrain réalisés par l'Ecole des Mines et dont les résultats sont détaillés dans les rapports d'inventaires [207].

*Productions*

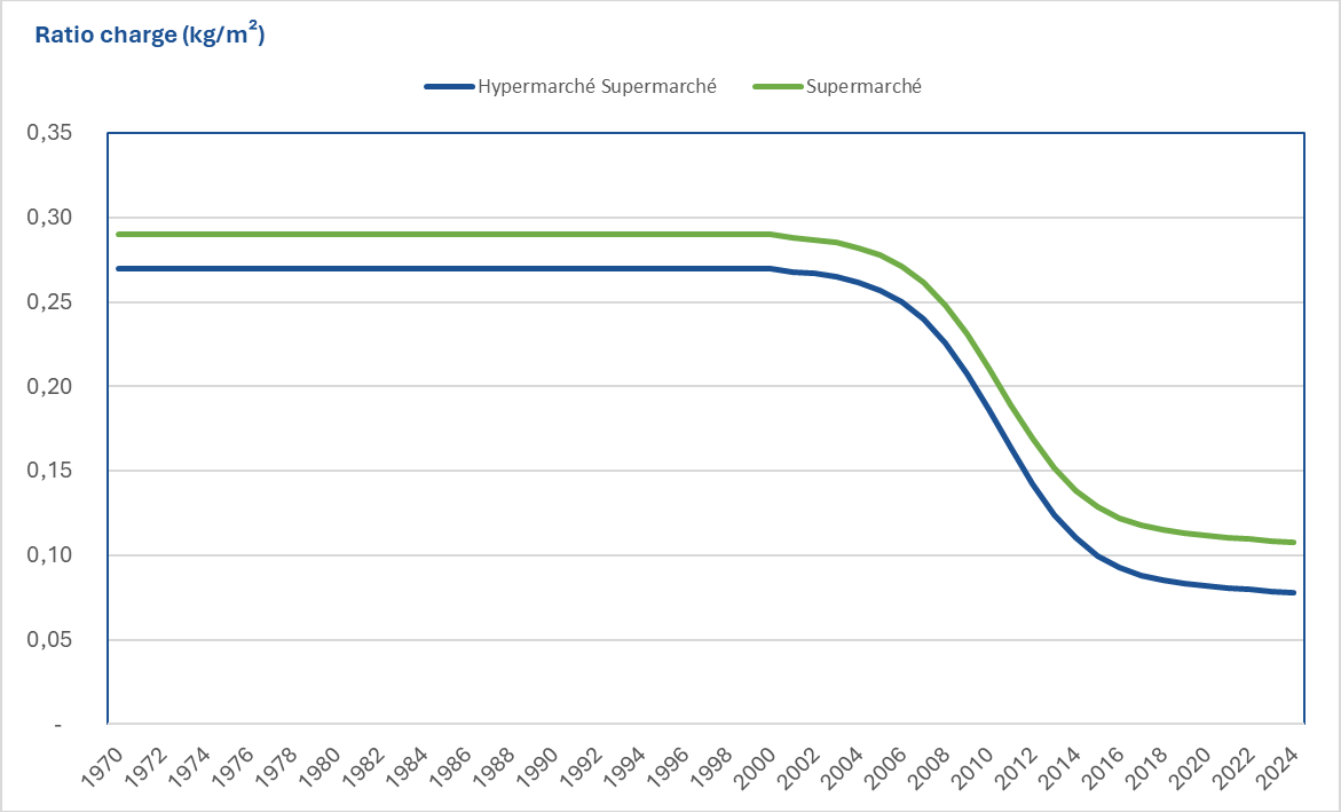
Faute de données, on estime que la production des groupes hermétiques sur le territoire national est équivalente au marché. Pour les autres sous-secteurs, la production n'est pas utile au calcul.

*Charge*

Pour les hypermarchés et supermarchés, la charge de fluide est exprimée en kg de fluide frigorigène par unité de surface (kg/m$^2$). Ces ratios ont été estimés à partir d'enquêtes de terrain et d'avis d'experts, incluant progressivement la réduction des charges du fait de l'introduction de systèmes indirects [207]. La courbe a été lissée, sur l'historique, avec un modèle de courbe en S.

**Figure 129 – Ratios de charge surfaciques en super et hypermarchés**

| Charge de référence (kg/m$^2$) | Avant 2000 | 2023 |
|---|---|---|
| Hypermarchés | 0,27 | 0,08 |
| Supermarchés | 0,29 | 0,11 |




Pour les petits commerces, les charges de fluides des groupes de condensation et des groupes hermétiques varient selon le type de commerces rencontrés.

**Tableau 142 : Niveaux de charge de référence des équipements du secteur du froid commercial (en kg)**

| Charge de référence (kg) | Avant 2000 | 2023 |
|---|---|---|
| Supérettes – Groupes de condensation | 129 | 20 |
| Supérettes – Groupes hermétiques | 2,8 | 2,8 |
| Petits commerces - Groupes de condensation | 3,5 | 3,5 |
| Petits commerces - Groupes hermétiques | 1,4 | 1,4 |
| Drives - Groupes de condensation | 0 | 0 |
| Drives - Groupes hermétiques | 0,3 | 0,3 |
| Distributeurs automatiques - Groupes de condensation | 200 | 200 |
| Distributeurs automatiques - Groupes hermétiques | 0 | 0 |

*Réfrigérants*

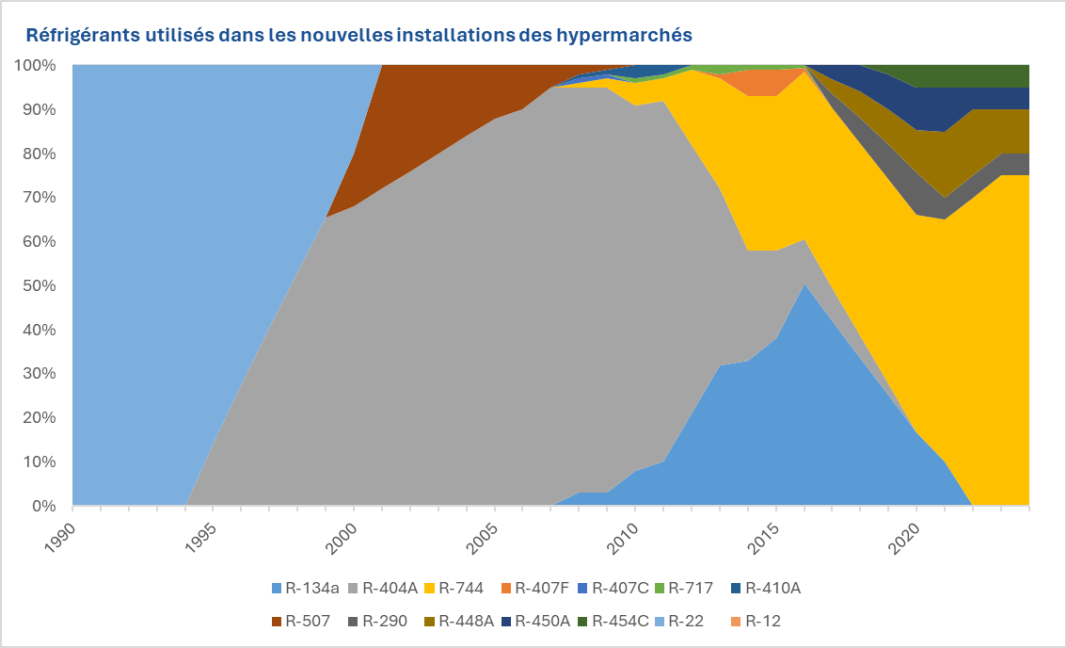
Au cours du temps, plusieurs réfrigérants ont été utilisés dans les commerces alimentaires de détail : les substances appauvrissant la couche d'ozone (CFC et HCFC) ont été progressivement remplacées par les HFC, le R-404A ayant été le plus utilisé. Ces derniers ayant des valeurs de PRG élevées, ils sont amenés à être remplacés par les HFO, des HFC à plus bas PRG, ou par d'autres fluides frigorigènes non fluorés ayant un faible impact sur le climat.

***Hypermarchés***

Entre 1970 et 1978, l'hypothèse est faite que les installations frigorifiques centralisées des hypermarchés utilisaient principalement le R-22 (entre 70 et 80 %) et le R-12 (entre 20 et 30 %). A partir du début des années 90, on considère que le R-22 constituait l'unique fluide utilisé dans les installations frigorifiques des hypermarchés. On estime qu'à partir du Plan Climat Européen de 1992, la part du HCFC-22 diminue au profit de mélanges de transition tels que le R-408A, puis majoritairement vers les HFC à fort PRG, le R-404A et le R-507 (qui restera minoritaire, pour des questions principalement commerciales). A partir de 2008 et le début de l'introduction des systèmes de type cascade, notamment R-134a/$CO_2$, la part du R-404A diminue. A partir de 2015, du fait de la nouvelle réglementation F-Gas et de l'interdiction programmée d'utilisation du R-404A dans les équipements neufs à partir de 2022, de nouveaux fluides frigorigènes commencent à être introduits sur le marché, à plus bas PRG. Il est considéré que la part du R-404A diminue progressivement pour être nulle en 2020 au profit d'autres fluides : le R-744 principalement ainsi que le R-134a, R-448A, R-449A, R-450A et R-454C dans des proportions variables à partir de 2017.

Ces hypothèses ont été formulées en considérant les rapports d'inventaire des Mines [207], une communication de l'European Partnership for Energy and the Environment [1116] et l'évolution de la réglementation européenne ((EU) 517/2014).

**Figure 130 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés en hypermarchés**



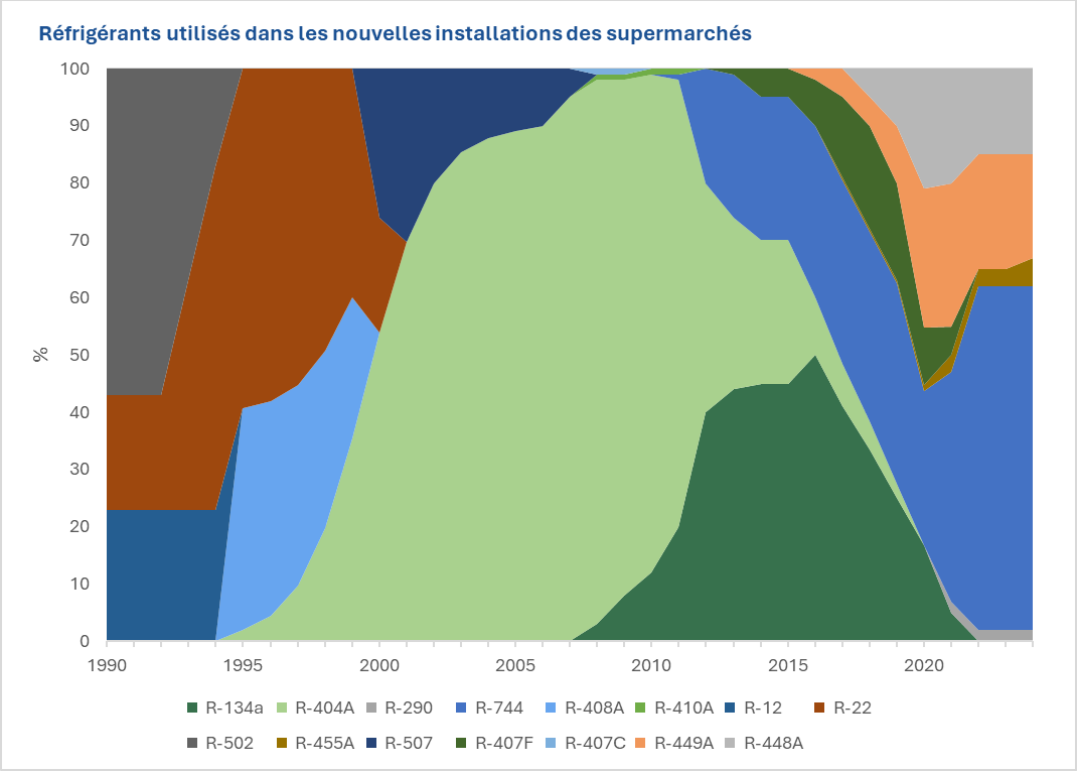

***Supermarchés***

A partir des années 1970 et jusqu'au milieu des années 1990, il est considéré que les installations frigorifiques centralisées des supermarchés sont principalement chargées au R-12, R-22 et au R-502. Aux termes du Plan Climat Européen de 1992, on estime que l'utilisation de ces fluides va être grandement réduite : le R-502 et le R-12 dans un premier temps puis le R-22 à la fin des années 1990. Des fluides de remplacements apparaissent alors, le R-408A en transition puis le R-404A.

De 2000 à 2010, l'utilisation du R-404A domine dans les supermarchés où l'on estime qu'il représente une part allant jusqu'à 95 %. De même que pour les supermarchés, du fait des systèmes cascade et indirects, le R-134a est progressivement introduit dans les années 2010 et la part du R-404A diminue. A partir de 2015, on fait l'hypothèse d'une baisse progressive de l'utilisation du R-404A au profit de nouveaux fluides frigorigènes aux potentiels de réchauffement globaux plus faible tels que le R-407A et le R-407F mais aussi le R-744.

Ces hypothèses ont été formulées en considérant les rapports d'inventaire des Mines [207], une communication de l'European Partnership for Energy and the Environment [1116] et l'évolution de la réglementation européenne.

**Figure 131 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés en supermarchés**




***Groupes de condensation***

Entre 1970 et le milieu des années 1990, une transition s'opère dans les groupes de condensation des « petits commerces » des CFC vers les HCFC. On considère que l'utilisation exclusive du R-12 laisse progressivement sa place au R-22. Sur la deuxième moitié des années 1990, la transition se fait du R-22 vers le R-404A.

Entre 2000 et 2016, on considère une utilisation majoritaire du R-404A (plus de 95 % en 2000 et 50 % en 2016) et du R-134a (jusqu'à 50 % en 2000), puis une diminution marquée jusqu'en 2022 du fait de l'utilisation progressive d'autres fluides à plus bas PRG le R-744, le R-407A, le R-448A, le R-450A et le R-454C.

Ces hypothèses ont été formulées en considérant les rapports d'inventaire des Mines [207], une communication de l'European Partnership for Energy and the Environment [1116], le rapport RTOC de 1998 [1107] et la prise en compte de l'interdiction programmée d R-404A dans les équipements neufs par la réglementation européenne.

***Groupes hermétiques***

Entre 1970 et 1993, on considère que les groupes hermétiques présents dans les « petits commerces » sont chargés au CFC-12. A partir de cette date, on considère une diminution rapide de son utilisation au profit du HFC-134a.

L'hypothèse est faite que le R-134a est le seul fluide utilisé dans ces groupes frigorifiques jusqu'en 2010. Dès lors, apparaissent d'autres fluides, notamment le R-290 et le R-744 dont la présence croit régulièrement jusqu'à aujourd'hui au détriment du R-134a.

Ces hypothèses ont été formulées en considérant les rapports d'inventaire des Mines [207], une communication de l'European Partnership for Energy and the Environment [1116] et l'évolution de la réglementation européenne.

### Facteurs d'émission

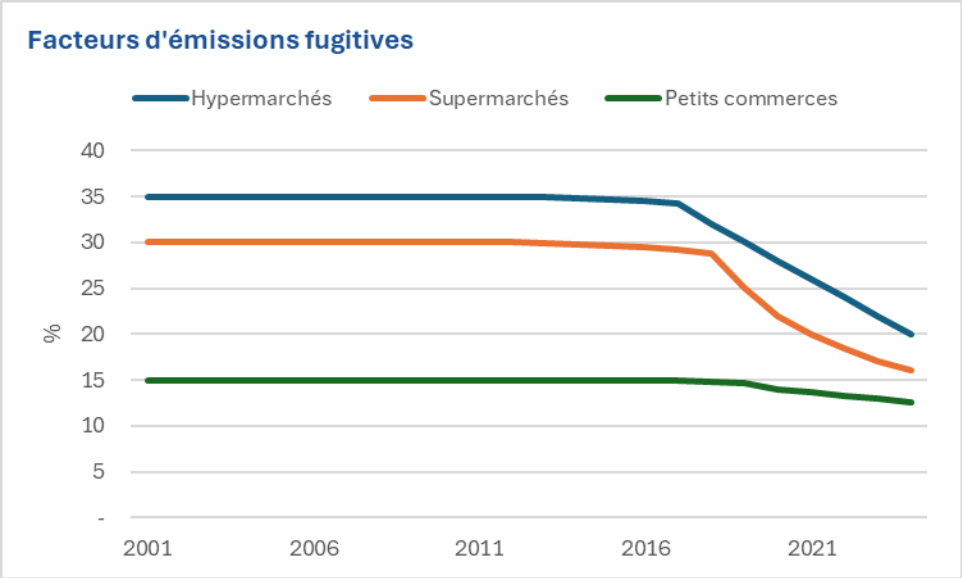
Le règlement F-Gas et la mise en place du phasedown imposant des quantités limitées de HFC, en tonnes de CO2 équivalentes sur le marché européen, ont conduit à une pénurie des HFC de PRG élevé tels que le R-404A fortement utilisé en froid commercial. Cela a conduit à une surveillance accrue des fuites et à une amélioration de la récupération à la maintenance et en fin de vie des équipements car une partie des réfrigérants récupérés est utilisée en recyclage direct par les opérateurs. Par conséquent, la diminution des taux d'émissions s'accentue depuis quelques années, en particulier dans le secteur du froid commercial qui a été marqué par les limitations d'usage du R-404A aux échéances 2020 et 2022.

*A la charge*

Pour estimer les facteurs d'émission à la charge, on distingue si les équipements sont chargés d'usine (groupes hermétiques) ou sont chargés sur site (hypermarchés, supermarchés et groupes de condensation). Les facteurs d'émissions utilisés sont issus des Lignes directrices du GIEC de 1996 [1118] et de 2006 [1095]. Pour les années antérieures à 1996 et les années après 2006, ils sont considérés constants.

*Fugitif*

**Figure 132 : Facteur d'émission à l'usage en froid commercial (en %)**




***Hypermarchés***

A la suite de données issues d'enquête de terrains et de contrôles réalisés par le Ministère chargé de l'environnement, des niveaux moyens ont pu être établis, régulièrement, sur un échantillon de magasins lors des études inventaires précédentes (2013-2016). Pour les années antérieures à 2013, on estime un taux d'émission fugitif constant de 35 %. Au-delà, on considère l'hypothèse d'une diminution de ce taux d'émission à hauteur de 24 % en 2023 [1127]. L'obligation de formation et de certification des personnels assurant la maintenance des installations a permis d'améliorer les pertes lors des opérations de maintenance et est ainsi prise en compte dans les hypothèses.

***Supermarchés***

La méthode de construction des taux d'émission fugitifs pour le sous-secteur des supermarchés est similaire à celle des hypermarchés. Avant 2013, on estime un taux constant de 30 %. Au-delà, on considère une diminution de ce taux d'émission à hauteur de 18 % en 2023 [1127]. Concernant les années intermédiaires, on estime ce taux par interpolation.

***Groupes hermétiques***

Le taux d'émission fugitif associé aux groupes de condensation est considéré constant à 1 % sur toute la série temporelle, afin de prendre en compte les pertes accidentelles, le système étant hermétique.

***Groupes de condensation***

Pour les années antérieures à 2017, on considère un taux d'émission fugitif constant de 15 %. Au-delà on construit une courbe de réduction en S qui pose l'hypothèse d'une diminution de ce taux à 10 % en 2035. Le niveau 2023 est ainsi estimé à 13%.

*Fin de vie*

Les émissions en fin de vie des équipements dépendent des quantités présentes dans l'équipement quand il atteint sa fin de vie et d'un facteur d'émission fin de vie traduisant l'efficacité des filières de récupération. A noter, dans le cadre de l'amélioration de la méthode de calcul, la charge réelle de l'équipement est calculée au cours de sa durée de vie, tenant compte des occurrences de maintenance, permettant de ne pas surestimer les émissions de fin de vie, la charge de fin de vie tenant compte des émissions fugitives d'étant produites les années précédentes.

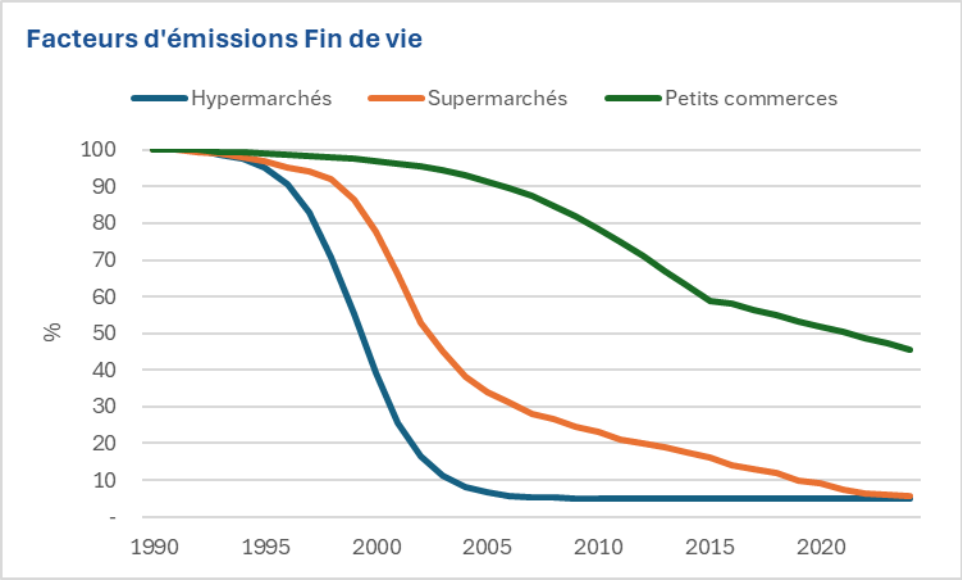
Concernant le secteur du froid commercial, ces facteurs ont été estimés avec un modèle de courbe en S comportant une année de démarrage de la récupération et une année asymptotique projetée en 2035.

Pour les hypermarchés et supermarchés, on considère une récupération nulle jusqu'en 1992 et un maximum supposé en 2035 à hauteur de 95 %. En 2023, on estime ce taux à plus de 94 %.

Concernant les groupes de condensation, on considère une récupération nulle jusqu'en 1992 et un maximum supposé en 2035 à hauteur de 70 %. En 2023, on estime le taux à près de 50 %.

Enfin, pour les groupes hermétiques, on estime une récupération nulle jusqu'en 2000 et un maximum supposé en 2035 à hauteur de 40 %. En 2023, on estime le taux de récupération à près de 30 %.

**Figure 133 : Facteurs d'émission fin de vie en froid commercial (en %)**




Les tableaux qui suivent compilent certains paramètres et facteurs d'émission utilisés dans le modèle.

**Tableau 143 : Facteur d'émission à la charge par sous-application sur 3 années**

| **Secteur** | Sous-secteur | 2000 | 2010 | 2022 |
|---|---|---|---|---|
| Chillers | Centrifugal compressors | 2,79% | 1,80% | 1,48% |
| | Large chillers | 2,79% | 1,80% | 1,51% |
| | Mid-size chillers | 2,79% | 1,80% | 1,48% |
| | Small chillers | 2,79% | 1,80% | 1,50% |
| Commercial Refrigeration | Hypermarkets | 3,00% | 2,70% | 1,87% |
| | Small Stores Condensation Groups | 3,00% | 2,70% | 1,87% |
| | Small Stores Hermetic Groups | 3,00% | 3,00% | 2,60% |
| | Supermarkets | 3,00% | 2,70% | 1,87% |
| Domestic Appliances | Freezers | 1,49% | 0,64% | 0,22% |
| | Heat Pump tumble dryers | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| | Refrigerators | 1,49% | 0,64% | 0,22% |
| | Wine coolers | 0,60% | 0,60% | 0,60% |
| Heat Pumps | Air-to-water heat pumps | 2,79% | 1,80% | 1,50% |
| | Ground-to-ground heat pumps | 2,79% | 1,80% | 1,51% |
| | Ground-to-water heat pumps | 2,79% | 1,80% | 1,51% |
| | Heat pump water heaters | 2,79% | 1,80% | 1,51% |
| | Water-to-water heat pumps | 2,79% | 1,80% | 1,51% |
| Industrial Refrigeration | Chemical_industry | 4,74% | 2,36% | 1,04% |
| | Ice Rinks | 4,00% | 3,00% | 3,00% |
| | Meat_industry | 4,74% | 2,36% | 1,04% |
| | Milk Tanks | 4,00% | 3,00% | 3,00% |
| | Milk_industry | 4,74% | 2,36% | 1,04% |
| | Other-food industry | 4,74% | 2,36% | 1,04% |
| | Pharmaceutical_industry | 4,65% | 2,99% | 2,51% |
| | Rubber_industry | 4,65% | 2,99% | 2,51% |
| | Warehouses | 4,74% | 2,36% | 1,04% |
| Mobile air-conditioning | Bus and coach AC | 2,80% | 1,72% | 0,13% |
| | Industrial vehicles AC | 2,80% | 1,72% | 0,23% |
| | Passenger car and VUL AC | 2,80% | 1,71% | 0,23% |
| | Rail AC | 2,79% | 1,80% | 1,50% |
| Refrigerated transportation | Reefers | 3,40% | 1,00% | 1,00% |
| | Refrigerated containers | 2,20% | 1,00% | 1,00% |
| | Refrigerated industrial vehicles | 1,00% | 1,00% | 0,99% |
| | Refrigerated Light Commercial Vehicles | 1,00% | 1,00% | 0,99% |
| Stationnary air-conditioning | Cabinets | 4,65% | 2,99% | 2,50% |
| | Consoles | 4,65% | 2,99% | 2,50% |
| | Large split systems | 4,65% | 2,99% | 2,50% |
| | Mobiles | 2,79% | 1,80% | 1,50% |
| | Multi-splits | 4,65% | 2,99% | 2,51% |
| | Roof-top units | 2,79% | 1,80% | 1,50% |
| | Small splits | 2,79% | 1,80% | 1,50% |
| | VRV | 2,79% | 1,80% | 1,50% |
| | Windows | 2,79% | 1,80% | 1,50% |

**Tableau 144 : Facteur d'émission durée de vie par sous-application sur 3 années**

| **Secteur** | Sous-secteur | 2000 | 2010 | 2022 |
|---|---|---|---|---|
| Chillers | Centrifugal compressors | 12,24% | 4,23% | 3,48% |
| | Large chillers | 13,96% | 5,53% | 3,97% |
| | Mid-size chillers | 14,89% | 9,81% | 5,05% |
| | Small chillers | 12,48% | 5,00% | 3,97% |
| Commercial Refrigeration | Hypermarkets | 35,00% | 35,00% | 29,50% |
| | Small Stores Condensation Groups | 15,00% | 15,00% | 13,29% |
| | Small Stores Hermetic Groups | 1,00% | 1,00% | 1,00% |
| | Supermarkets | 30,00% | 30,00% | 18,50% |
| Domestic Appliances | Freezers | 0,01% | 0,01% | 0,01% |
| | Heat Pump tumble dryers | 0,01% | 0,01% | 0,01% |
| | Refrigerators | 0,01% | 0,01% | 0,01% |
| | Wine coolers | 0,01% | 0,01% | 0,01% |
| Heat Pumps | Air-to-water heat pumps | 8,08% | 2,51% | 1,99% |
| | Ground-to-ground heat pumps | 8,80% | 5,32% | 5,00% |
| | Ground-to-water heat pumps | 8,80% | 5,32% | 5,00% |
| | Heat pump water heaters | 0,01% | 0,01% | 0,01% |
| | Water-to-water heat pumps | 8,08% | 2,51% | 2,01% |
| Industrial Refrigeration | Chemical_industry | 15,00% | 14,97% | 11,22% |
| | Ice Rinks | 14,66% | 10,72% | 7,67% |
| | Meat_industry | 14,88% | 13,69% | 6,96% |
| | Milk Tanks | 15,00% | 12,16% | 7,60% |
| | Milk_industry | 14,88% | 13,69% | 6,96% |
| | Other-food industry | 15,00% | 15,00% | 11,22% |
| | Pharmaceutical_industry | 15,00% | 14,97% | 13,30% |
| | Rubber_industry | 100,00% | 18,00% | 14,33% |
| | Warehouses | 15,00% | 15,00% | 11,22% |
| Mobile air-conditioning | Bus and coach AC | 20,00% | 10,00% | 9,95% |
| | Industrial vehicles AC | 7,95% | 7,95% | 7,95% |
| | Passenger car and VUL AC | 11,50% | 8,05% | 7,97% |
| | Rail AC | 12,60% | 5,63% | 4,97% |
| Refrigerated transportation | Reefers | 25,77% | 15,00% | 14,91% |
| | Refrigerated containers | 35,00% | 20,00% | 19,86% |
| | Refrigerated industrial vehicles | 15,00% | 14,83% | 11,58% |
| | Refrigerated Light Commercial Vehicles | 35,00% | 22,00% | 17,33% |
| Stationnary air-conditioning | Cabinets | 10,00% | 6,11% | 4,96% |
| | Consoles | 10,00% | 6,11% | 4,96% |
| | Large split systems | 10,00% | 6,11% | 4,96% |
| | Mobiles | 2,00% | 2,00% | 1,99% |
| | Multi-splits | 10,00% | 6,11% | 5,00% |
| | Roof-top units | 10,00% | 6,11% | 4,96% |
| | Small splits | 8,56% | 4,38% | 3,98% |
| | VRV | 8,42% | 5,15% | 4,96% |
| | Windows | 2,00% | 2,00% | 1,99% |

**Tableau 145 : Facteur d'émission fin de vie par sous-application sur 3 années**

| Secteur | Sous-secteur | 2000 | 2010 | 2022 |
|---|---|---|---|---|
| Chillers | Centrifugal compressors | 5,00% | 2,32% | 1,99% |
| | Large chillers | 94,29% | 57,88% | 15,61% |
| | Mid-size chillers | 94,29% | 57,88% | 15,61% |
| | Small chillers | 94,29% | 57,88% | 15,61% |
| Commercial Refrigeration | Hypermarkets | 39,07% | 5,05% | 4,97% |
| | Small Stores Condensation Groups | 97,09% | 78,51% | 48,76% |
| | Small Stores Hermetic Groups | 100,00% | 96,11% | 70,07% |
| | Supermarkets | 77,75% | 23,00% | 6,50% |
| Domestic Appliances | Freezers | 100,00% | 66,97% | 43,83% |
| | Heat Pump tumble dryers | 100,00% | 66,97% | 43,83% |
| | Refrigerators | 100,00% | 66,97% | 43,83% |
| | Wine coolers | 100,00% | 66,97% | 43,83% |
| Heat Pumps | Air-to-water heat pumps | 100,00% | 96,21% | 35,53% |
| | Ground-to-ground heat pumps | 100,00% | 97,15% | 48,51% |
| | Ground-to-water heat pumps | 100,00% | 97,15% | 48,51% |
| | Heat pump water heaters | 100,00% | 97,15% | 48,51% |
| | Water-to-water heat pumps | 100,00% | 97,15% | 48,51% |
| Industrial Refrigeration | Chemical_industry | 45,70% | 6,61% | 5,00% |
| | Ice Rinks | 93,63% | 28,30% | 19,00% |
| | Meat_industry | 45,70% | 6,61% | 5,00% |
| | Milk Tanks | 98,90% | 62,00% | 41,04% |
| | Milk_industry | 45,70% | 6,61% | 5,00% |
| | Other-food industry | 45,70% | 6,61% | 5,00% |
| | Pharmaceutical_industry | 36,95% | 6,61% | 5,00% |
| | Rubber_industry | 100,00% | 100,00% | 32,01% |
| | Warehouses | 45,70% | 20,00% | 6,50% |
| Mobile air-conditioning | Bus and coach AC | 100,00% | 99,50% | 89,34% |
| | Industrial vehicles AC | 100,00% | 100,00% | 99,89% |
| | Passenger car and VUL AC | 100,00% | 93,00% | 43,77% |
| | Rail AC | 87,29% | 32,71% | 11,93% |
| Refrigerated transportation | Reefers | 98,54% | 83,00% | 61,48% |
| | Refrigerated containers | 98,74% | 78,00% | 52,78% |
| | Refrigerated industrial vehicles | 90,80% | 35,04% | 29,76% |
| | Refrigerated Light Commercial Vehicles | 90,80% | 35,04% | 29,76% |
| Stationnary air-conditioning | Cabinets | 100,00% | 96,21% | 35,53% |
| | Consoles | 100,00% | 96,21% | 35,53% |
| | Large split systems | 94,29% | 57,88% | 15,61% |
| | Mobiles | 100,00% | 97,15% | 51,57% |
| | Multi-splits | 100,00% | 96,21% | 31,35% |
| | Roof-top units | 94,29% | 57,88% | 15,61% |
| | Small splits | 100,00% | 96,21% | 35,53% |
| | VRV | 94,29% | 57,88% | 15,61% |
| | Windows | 100,00% | 97,15% | 51,43% |

### 1.1.1.8 Mousses isolantes (2F2)

La méthode appliquée est de rang GIEC 2a.

Les émissions sont estimées par sous-application en différenciant les émissions à la production, pendant la durée de vie de l'équipement et en fin de vie.

Les mousses d'isolation ont des propriétés différentes selon qu'elles sont à cellules ouvertes ou à cellules fermées et selon le procédé de mise en œuvre.

**Mousses à alvéoles ouvertes**

L'intégralité des émissions de HFC utilisés se produit pendant le procédé de fabrication (mousse à peau intégrée PU) ou l'utilisation (OCF). Ainsi, le facteur d'émission utilisé est de 100 %.

- Mousse à peau intégrée

Les consommations et les émissions de HFC sont obtenues à partir des déclarations annuelles des producteurs [19].

- OCF

Les ventes de boitiers OCF en France sont issues d'un rapport réalisé par EReIE en 2012 sur l'utilisation des HFC dans l'application des mousses d'isolation [520]. Cette étude donne également la masse des HFC dans la masse totale du boitier, une quantité de 70 g de HFC par boitier est ainsi utilisée. Les émissions obtenues sont calculées en multipliant les ventes de boitiers OCF en France, par la part de HFC utilisé en tant qu'agent d'expansion (50 % entre 2000 et 2008 [520]) et par la quantité de HFC contenus dans un boitier.

**Mousses à alvéoles fermées**

Les HFC sont émis à la production, à l'usage et en fin de vie.

- SPF

La production de polyuréthane projeté en France provient du Syndicat Français des techniques du polyuréthane Projeté (SFTPP) [689] pour 2013. Les projections faites à l'horizon 2018 ont été utilisées pour estimer les productions après 2013 et l'année 2019 en fonction de la tendance entre 2017 et 2018. Les HFC ont été consommés à partir du milieu des années 2000. La répartition des ventes par type de HFC est estimée à partir de données d'un formulateur de mousse de PU [690]. Les productions pour les années antérieures à 2013 ont été calculées à partir des tendances de ventes de HFC de ce même formulateur pour cette application.

Les émissions de HFC sont calculées, par type de HFC, en tenant compte de la masse des HFC contenus dans la production totale de polyuréthane projeté et à l'aide des facteurs d'émission des lignes directrices du GIEC 2006 pour la charge et pendant la durée de vie [691].

- Chauffe-eau

Du HFC-245fa est utilisé dans les chauffe-eaux depuis 2000. Ce HFC n'est pratiquement plus utilisé depuis 2016, remplacé par le pentane et à un degré moindre par le HFC-1234ze. Le GIFAM (Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'équipements Ménager) recense les ventes de chauffe-eau en France. La majorité des produits vendus en France est fabriquée en France et il est considéré que les importations compensent les exportations. Le GIFAM a réalisé une enquête auprès de ses membres pour connaître le type d'agent d'expansion utilisé ainsi que la quantité de HFC par appareil depuis 2000 [692]. Les quantités de HFC consommés par les fabricants sont calculées en fonction du nombre de chauffe-eau vendus, du type d'agent d'expansion et de la quantité de HFC injecté par appareil. Les émissions de fin de vie apparaissent à partir de 2015 où il est considéré que les HFC contenus dans les mousses des équipements ne sont pas récupérés.

Les émissions à la charge, pendant la durée de vie et en fin de vie, sont ensuite estimées à l'aide des facteurs d'émission des lignes directrices du GIEC 2006 [691].

- Bâtiments

Les panneaux de mousse de polyuréthane rigide pour l'isolation thermique des bâtiments, dont les principaux producteurs en France sont représentés au sein du Syndicat National des Polyuréthanes (SNPU) ne consomment pas de HFC comme agent gonflant.

Les mousses XPS utilisent du HFC-134a et du HFC-152a. Elles sont utilisées comme isolant thermique dans le bâtiment. Il existe en France deux sites de production de XPS expansé au HFC-134a et HFC-152a. Les facteurs d'émission associés sont spécifiques à ces entreprises et les émissions proviennent des déclarations annuelles des producteurs [19].

Le marché national des mousses a été estimé par le Citepa à l'aide des données des fabricants de XPS en France. Les importations de XPS en France contenant des gaz fluorés sont également prises en compte dans les calculs. Les facteurs d'émission, pendant la durée de vie des XPS, sont tirés des lignes directrices du GIEC 2006 [691].

- Transport frigorifique

Les productions nationales ne sont pas connues précisément. Elles sont estimées à partir des ventes des producteurs de chaque HFC en France. La France est un grand exportateur de véhicules frigorifiques, il est considéré que 75 % des productions sont exportées [520]. Les facteurs d'émission des lignes directrices du GIEC 2006 à la charge et pendant la durée de vie de l'équipement sont utilisés pour estimer les émissions [691].

**Formulateurs**

Il existe quelques formulateurs de systèmes de polyuréthane en France dont les émissions et les consommations sont directement communiquées par les exploitants. Les facteurs d'émission induits sont donc spécifiques à la France et varient chaque année.

Les sources des facteurs d'émission par sous-applications ainsi que les sources et les types de données d'activités sont résumées dans les tableaux ci-dessous :

**Tableau 146 : Sources des facteurs d'émission par sous-application des mousses**

| Source of emission factor | Electric water heaters | Building (SPF) | Building (XPS) | Transport refrigeration | One component foam (OCF) | Automobile equipment | Production of polyurethanes systems |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Product** | IPCC 2006 | IPCC 2006 | Plant | IPCC 2006 | NO | Plant specific | Plant specific |
| **Product life factor** | IPCC 2006 | IPCC 2006 | IPCC 2006 | IPCC 2006 | IPCC 2006 | NA | NA |
| **Disposal loss factor** | IPCC 2006 | NO | NO | NO | NA | NA | NA |

**Tableau 147 : Sources et données d'activités par sous-application des mousses**

| Activity data | Electric water heaters | Building (SPF) | Building (XPS) | Transport refrigeration | One component foam (OCF) | Automobile equipment | Production of polyurethanes systems |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Source** | GIFAM (French federation) | SFTPP (French federation) | Plant specific | special report supplied by EReIE in 2012 | special report supplied by EReIE in 2012 | Plant specific | Plant specific |
| **Data** | - Number of water heaters<br>- Type of foam blowing agents<br>- Amount of foam blowing agent by appliance | - Production of SPF in France<br>- Type of foam blowing agents | - Type of foam blowing agents<br>- Amount of HFC used<br>- Export vs import | - Type of foam blowing agents<br>- Number of refrigerated truck produced<br>- Amount of foam blowing agent by appliance | - Type of foam blowing agents<br>- Amount of HFC contained in cans<br>- Number of cans sold | - Type of foam blowing agents<br>- Amount of foam blowing agent used | - Type of foam blowing agents<br>- Amount of foam blowing agent used |

### 1.1.1.9 Extincteurs (2F3)

La méthode appliquée est de rang GIEC 1a avec FE spécifiques au pays.

Les émissions sont estimées par application en différenciant les émissions à la production, pendant la durée de vie de l'équipement et en fin de vie. Les sociétés de vente et d'installations d'extincteurs ont mis en place depuis 2000 un programme d'amélioration ayant pour objectif de réduire les taux d'émissions. Les HFC utilisés sont le HFC-227ea en grande majorité (98 %) et le HFC-23 à hauteur de 2 % [209]. Le HFC-23 n'est plus mis sur le marché depuis le 1er janvier 2016 à la suite de l'application du règlement n°517/2014. Néanmoins, le HFC-23 a pu être récupéré sur des équipements en fin de vie ou en maintenance, puis être recyclé avant réintégration dans de nouveaux équipements. Ainsi, il apparaissait encore une (très faible) part de nouveaux équipements contenant du HFC-23 jusqu'en 2018 [688]. Toutefois, plus aucun nouvel équipement mis en service ne consomme ce gaz depuis 2019 [688].

***Emissions à la production***

Les ventes nationales sont transmises par le GIFEX (Groupement des fabricants installateurs de systèmes d'extinction automatiques fixes) jusqu'en 2010. A partir de 2013, les données proviennent de l'Observatoire des Fluides Frigorigènes de l'ADEME (OFF) [688] qui recense les quantités de HFC acquises et mises sur le marché par type de HFC. Les années 2011 et 2012 ont été déduites par linéarisation des ventes de 2010 et 2013. Le facteur d'émission national [209] évolue de 2000 à 2010 pour tenir compte du programme d'amélioration des installateurs de réduire les taux d'émissions.

***Emissions pendant la durée de vie des équipements***

Les ventes nationales sont transmises par le GIFEX (Groupement des fabricants installateurs de systèmes d'extinction automatiques fixes) jusqu'en 2010. A partir de 2013, les données proviennent de l'Observatoire des Fluides Frigorigènes de l'ADEME (OFF) [688] qui recense les quantités de HFC acquises et mises sur le marché par type de HFC. Le facteur d'émission national [209], correspondant à un

taux de fuite accidentelle et un taux d'émission à la suite des départs de feux, évolue de 2000 à 2010 pour tenir compte du programme d'amélioration des sociétés de vente et installateurs de réduire les taux d'émissions (amélioration sur les émissions intempestives).

***Emissions à la fin de vie des équipements***

Les émissions en fin de vie sont calculées en fonction de la banque et de la durée de vie des équipements. Il est considéré que la durée de vie des équipements est de 10 ans [209]. Le facteur d'émission national [693] correspond au taux d'émission de HFC au moment du recyclage des équipements en fin de vie. Ce taux est fourni par la principale entreprise qui recycle les HFC provenant des équipements d'extinction incendie et varie chaque année.

Les émissions des territoires d'Outre-mer sont estimées en fonction des émissions de la Métropole et d'un ratio basé sur le nombre d'emploi.

### 1.1.1.10 Aérosols (2F4)

La méthode appliquée est de rang GIEC 2a.

Les émissions sont estimées par type d'aérosols, les aérosols techniques d'un côté et les aérosols pharmaceutiques de l'autre.

***Aérosols techniques***

Les émissions à la charge sont estimées à partir des quantités totales de HFC consommés et conditionnés en France pour ce type d'aérosols et d'un facteur d'émission provenant d'un important conditionneur français [19]. Les ventes en France sont transmises par le CFA (Comité Français des Aérosols) [210].

Dans le calcul des émissions à l'usage des aérosols techniques, afin de tenir compte du fait que les importations d'aérosols techniques sont plus importantes que les exportations, un facteur de 15 % appelé « estimation du solde des importations » est appliqué à la consommation française [210]. L'intégralité du HFC contenu dans l'aérosol est supposée être émise au bout de deux ans.

Les émissions en fin de vie sont nulles car elles sont supposées avoir lieu en totalité pendant la durée de fonctionnement de l'aérosol.

Le HFC-134a n'est plus mis sur le marché depuis le 1er janvier 2018 à la suite de l'application du règlement n°517/2014. Néanmoins, des ventes d'aérosols techniques avec ce gaz propulseur subsistent en 2018 en raison d'un effet de stock. Le HFC-134a a été remplacé en majorité par le butane/propane en raison de son prix moins élevé que celui du HFC-1234ze bien que les consommations de ce dernier ne soient pas négligeables [1021].

***Aérosols pharmaceutiques***

Les émissions à la charge sont estimées à partir des déclarations des producteurs d'aérosols pharmaceutiques en France [19]. Un facteur d'émission national est utilisé et déduit à l'aide des quantités de HFC consommés et émises par les divers producteurs.

Le marché des aérosols pharmaceutiques en France métropolitaine est estimé annuellement par le plus important producteur français d'aérosols pharmaceutiques [521]. Les ventes dans les territoires d'Outre-mer UE et non UE sont déduites au prorata de la population. Les émissions sont calculées en fonction des ventes et de la charge de HFC par unité d'aérosols, estimé à 12 g de HFC/boitier [521]. Jusqu'en 2002 seul le HFC-134a est utilisé. A partir de 2003, le HFC-227ea est également employé comme propulseur (en quantité moindre) et la répartition de la consommation entre ces deux HFC est estimée en fonction de la production française.

A l'instar des aérosols techniques, l'usage des aérosols pharmaceutiques est totalement émissif et l'intégralité des HFC contenus dans les boitiers est émis en deux ans. Ces émissions, réparties sur deux ans, peuvent engendrer des pics sur le facteur d'émission en cas de variation trop importante de la donnée d'activité entre deux années. C'est le cas par exemple en 2005 où le facteur d'émission du HFC-227ea est deux fois plus élevés qu'en 2004 car la consommation en 2005 était presque trois fois moins importante qu'en 2004 tandis que les émissions sont lissées sur ces deux années. Ainsi, il est possible d'avoir des facteurs d'émission supérieur à 100 % pour certaines années.

Les émissions en fin de vie sont nulles car elles sont supposées avoir lieu en totalité pendant la durée de fonctionnement de l'aérosol.

Les émissions des territoires d'Outre-mer sont estimées en fonction des émissions de la Métropole et d'un ratio basé sur la population.

### 1.1.1.11 Solvants (2F5)

La méthode appliquée est de rang GIEC 1a.

Les émissions sont estimées à partir des ventes annuelles qui ont été communiquées par les producteurs de gaz fluorés :

- Les ventes de HFC-4310mee ont été transmises par DuPont [694] pour les années récentes et par Promosol (distributeur) [212] pour certaines années anciennes,
- Les ventes de HFC-365mfc ont été transmises par Solvay [695] et certaines années ont été estimées,
- Les ventes de HFC-245fa ont été estimées à partir des déclarations à l'Observatoire des Fluides Frigorigènes (OFF) de l'ADEME [688] à partir de 2014 et, faute d'information additionnelle, il a été supposé que les émissions ont été constantes de 2004 à 2014,
- Les ventes de $C_6F_{14}$ ont été transmises par F2 Chemicals [648].

En outre, de petites quantités de HFC vendues en France sont réexportées. Ce taux a été fourni par un producteur et appliqué aux autres producteurs. Ces quantités sont soustraites des consommations nationales.

Les émissions sont calculées en considérant que l'intégralité des HFC est utilisée et émise à l'atmosphère au bout de deux ans.

#### 1.1.1.12 Autres applications (2F6)

Les émissions de HFC-134a du site de production de caoutchouc synthétique sont déclarées chaque année par l'exploitant [19].

## 4.7.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 2F).

Concernant la catégorie 2F1, les incertitudes du calcul sont liées à 3 types de paramètres : les données statistiques concernant les marchés et productions d'équipements, les caractéristiques et hypothèses permettant l'estimation des taux d'émissions et enfin les caractéristiques liées à la vie de l'équipement (durée de vie, rétrofit). Le froid domestique, la climatisation fixe et les chillers sont trois domaines avec peu d'incertitude (estimée entre 3 et 5 % en première approche) liée essentiellement au paramètre de la durée de vie. Les autres secteurs ont des niveaux d'incertitude plus élevés, le transport étant le plus critique mais représentant la plus petite part des émissions.

Au global, l'incertitude moyenne estimée pour l'activité liée à la catégorie 2F est de 20 %.

L'incertitude pour les facteurs d'émission des HFC est également estimée à 20 %, pour les mêmes raisons.

## 4.7.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

La démarche qualité consiste à reconstituer la demande en fluides frigorigènes, soit le besoin pour la charge et la production d'équipements neufs ainsi que le besoin pour la maintenance du parc, et à la comparer aux marchés de fluides déclarés par les distributeurs. La vérification de cohérence entre les marchés déclarés (SNEFCCA, ADEME) et la demande calculée, par fluide frigorigène et par an, constitue l'étape de validation de l'inventaire. Les déclarations à l'observatoire de l'ADEME permettent également de comparer le besoin pour la maintenance aux quantités utilisées par les opérateurs, ce qui constitue une deuxième vérification de cohérence.

Chaque année, les mises à jour sont tracées, les évolutions des sources suivies et les interviews d'experts conservées. Le Citepa répertorie également les fichiers de résultats par domaine ainsi que tous les documents, rapports mondiaux ou conférences sur le sujet et cherche à améliorer constamment le croisement des données pour valider le plus précisément possible les résultats.

Par ailleurs, le Citepa contrôle chaque année s'il y a de nouveaux sites émetteurs de HFC en France à partir du registre déclaratif français [19] pour assurer l'exhaustivité des émissions des industriels (fabricants des secteurs mousses d'isolation, production d'aérosols et autres sites industriels).

## 4.7.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 2F**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 0 | 974 | 5 674 | 11 516 | 16 161 | 16 915 | 17 115 | 17 071 | 16 947 | 16 712 | 16 324 | 15 697 | 14 312 | 12 459 | 11 109 | 9 859 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 0 | 998 | 5 686 | 12 128 | 17 072 | 17 816 | 17 996 | 17 880 | 17 701 | 17 433 | 16 998 | 16 341 | 14 834 | 12 868 | 11 413 | 10 206 | 9 085 |
| Différence | kt CO2e | 0 | +24 | +12 | +612 | +911 | +901 | +881 | +809 | +754 | +720 | +674 | +644 | +522 | +409 | +304 | +347 | +9 085 |
| | % | - | +2% | +0% | +5% | +6% | +5% | +5% | +5% | +4% | +4% | +4% | +4% | +4% | +3% | +3% | +4% | - |

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

Les résultats ci-dessus sont issus de différents recalculs dans diverses applications. Néanmoins, la quasi-totalité des recalculs provient du CRT 2F1.

### 1.1.1.13 Air conditionné et réfrigération (2F1)

**Description des recalculs**

- Tous secteurs

Pour cette édition d'inventaire, les calculs ont été réalisés avec un nouvel outil Web ayant des fonctionnalités supplémentaires, notamment de vérification de cohérence des données d'entrée et de visualisation des hypothèses et sorties de calcul par sous-secteur. Ces nouvelles fonctionnalités ont permis d'améliorer les procédures QA/QC et de corriger certaines erreurs dans les fichiers d'hypothèses (somme de pourcentages différentes de 0, décalage d'année, erreur dans une courbe de tendance de facteur d'émissions, etc.). Cela explique une partie des recalculs sur l'historique.

Le froid industriel est un secteur complexe marqué d'une forte confidentialité des données. Il est en amélioration constante depuis plusieurs années. Pour cette édition d'inventaire, de nouveaux sous-secteurs ont été ajoutés en froid agroalimentaire, ce qui explique les recalculs.

**Raison et justification**

Recherche d'exhaustivité, amélioration de la précision (reconsolidation de la méthode) et amélioration de la procédure QA/QC.

## 4.7.6 Améliorations envisagées

Air conditionné et réfrigération (2F1) :

Le secteur du froid industriel reste le secteur avec le plus d'incertitudes, notamment sur les données concernant les procédés industriels. Les collaborations avec la profession permettent d'améliorer la prise en compte de certains sous-secteurs et seront poursuivies pour à la fois mieux prendre en compte les procédés industriels et décomposer le mieux possible l'agroalimentaire.

# 4.8 Autres usages et fabrication de produits (CRT 2G)

## 4.8.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette catégorie regroupe les émissions des gaz à effet de serre issus des autres usages non reportés dans les CRT 2 précédents. Les secteurs sont divers et les GES correspondants également ($N_2O$, $SF_6$, PFC et HFC).

### 4.8.1.1 Equipements électriques (2G1)

En 2023, ce secteur n'est pas une catégorie clé.

Le $SF_6$ est utilisé comme diélectrique et agent de coupure dans les équipements de haute et moyenne tension du parc électrique français. Il existe plusieurs sites de production de ces équipements en France.

Les constructeurs d'équipements électriques via le GIMELEC et RTE se sont engagés en 2004, sur la base d'un volontariat, à maintenir à l'horizon 2010 le niveau d'émissions de $SF_6$ de 1995. Cet objectif a été atteint, les émissions ayant été divisées par plus de deux. Les facteurs d'émission à la charge et pendant la durée de l'équipement diminuent au fil des années même après 2010 et notamment chez les opérateurs électriques qui mettent en place plusieurs types d'actions (maintenance préventive, nouvelles techniques de colmatage, amélioration des techniques de détection des fuites). Enfin, des recherches sont en cours sur les alternatives au $SF_6$ dans ce domaine d'application.

Trois catégories d'émissions de $SF_6$ sont distinguées :

- Les émissions à la charge correspondant aux pertes à la charge de l'équipement,
- Les émissions pendant la durée de vie comprenant les fuites accidentelles et les fuites lors des opérations de maintenance,
- Les émissions en fin de vie des équipements.

A noter que la France est un exportateur net d'équipements électriques, par conséquent les quantités de $SF_6$ chargées dans les équipements électriques sont beaucoup plus importantes que la variation de la banque de $SF_6$ en France d'une année à l'autre pour cette application.

### 4.8.1.2 Autres utilisations de $SF_6$ et PFC (2G2)

En 2023, ce secteur n'est pas une catégorie clé.

D'autres sources que les équipements électriques sont consommatrices et émettrices de $SF_6$ telles que les chaussures de sport, certaines industries (fabrication de câbles et tubes électroniques), les AWACS, les accélérateurs de particules et la recherche. Certaines applications spécifiques non traitées dans les secteurs précédents consomment également des PFC.

**$SF_6$ utilisé dans les chaussures de sport**

Les $SF_6$ est utilisé dans les chaussures de sport dont la semelle contient un coussin d'air qui contient le $SF_6$. Ce gaz a été utilisé jusqu'en 2000.

**$SF_6$ utilisé dans le secteur industriel**

Du $SF_6$ est consommé dans certains secteurs industriels tels que la fabrication de tubes électroniques et la production de câbles où il est utilisé comme isolant électrique. Sur certains sites, il existe des systèmes de récupération du $SF_6$ afin de le réutiliser ou le recycler.

**$SF_6$ utilisé par les AWACS**

Le $SF_6$ est utilisé comme isolant dans les systèmes de radar des avions de reconnaissance militaires de type Boeing E-3A (communément appelés AWACS). Les quatre AWACS exploités par l'Armée de l'Air française ont été mis en service en 1991.

**$SF_6$ utilisé par les accélérateurs de particules**

Le $SF_6$ est utilisé comme gaz isolant dans les accélérateurs de particules. Trois types d'accélérateurs de particules sont distingués :

- Accélérateurs industriels,
- Accélérateurs de recherche/université,
- Accélérateurs médicaux (radiothérapie).

**$SF_6$ utilisé dans la recherche**

Le $SF_6$ est utilisé pour ses caractéristiques spécifiques dans certaines activités liées à la recherche. Il est notamment employé lors d'essais de mouvements liquides afin de déterminer le comportement du gaz naturel dans les terminaux méthaniers. Les consommations ont été communiquées par l'organisme consommant le $SF_6$ pour cette activité [558]. De plus, ce gaz est utilisé comme gaz traceur dans le secteur agricole afin de connaitre les émissions de $NH_3$, $N_2O$ et $CH_4$ issues des stockages de lisiers et bâtiments d'élevages et pour la validation de modèle de dispersion atmosphérique. Les consommations de $SF_6$ ont été transmises par deux instituts [651] et [652].

**PFC utilisés dans d'autres applications techniques**

Certaines applications techniques utilisent également des PFC comme celles utilisées comme fluide de transfert de chaleur ou dans les applications cosmétiques et médicales. Les PFC utilisés sont le $C_2F_6$, $C_3F_8$, $C_4F_{10}$, $C_5F_{12}$, $C_6F_{14}$ et $C_{10}F_{18}$.

Pour des raisons de confidentialité, les émissions de PFC des applications médicales et cosmétiques sont rapportées avec celles des solvants, des fluides de transfert de chaleur et d'autres applications techniques dans la rubrique 2G2 « *Solvents Medical and other use of PFCs* » de la table CRT *Table2(II)B-Hs2*. Les émissions sont rapportées en $CO_2e$.

### 4.8.1.3 Autres utilisations de $N_2O$ (2G3)

Ce secteur n'est pas une catégorie clé.

**Anesthésie**

Selon [228], le marché européen du $N_2O$ médicinal est de 1 800 t dont 90 % pour le secteur médical. Le marché pour l'anesthésie en Europe en 2000 est donc évalué à 1 620 t.

**Crème chantilly**

La consommation de $N_2O$ comme gaz propulseur de crème chantilly est à l'origine d'émissions de GES. Les données de ventes d'aérosols de crème chantilly, dans lesquels le $N_2O$ est consommé, sont transmises par le CFA [561] pour les années 2002 et 2008. Elles sont estimées respectivement à environ 23 et 27 millions d'unités en France métropolitaine et sont considérées comme étant constantes d'une année à l'autre. Entre 1990 et 2002, les quantités vendues sont considérées constantes et entre 2002 et 2008, les ventes sont interpolées. A partir de 2013, le nombre d'unités de crèmes chantilly vendues en France sont issues des rapports de France Agrimer sur la consommation de produits laitiers [1268]. Entre 2008 et 2013, les ventes sont interpolées.

### 4.8.1.4 Autres (2G4)

#### 4.8.1.4.1 Cycle Organique de Rankine (ORC) (2G4.a)

Les HFC peuvent être utilisés dans les systèmes de cycles organiques de Rankine (ORC) qui sont conçus pour convertir la chaleur en électricité. Les HFC y sont utilisés comme fluide de travail. Cette activité est toutefois peu répandue en France. Une petite vingtaine de sites disposent de tels systèmes contenant des HFC pour une puissance installée totale d'environ 13MW. Les HFC-365mfc et HFC-245fa sont utilisés dans cette application.

#### 4.8.1.4.2 Autres utilisations (2G4.b)

**Autres utilisations de solvants**

Cette section couvre les secteurs de l'imprimerie, l'extraction d'huiles comestibles et non comestibles, l'application de colles, l'élimination de la cire de protection sur les véhicules neufs, la protection du bois, l'enduction de fibres de verre et de fibres minérales et l'utilisation domestique de solvants (autre que la peinture), de colles et de produits pharmaceutiques et la consommation de gel hydroalcoolique. Le traitement et la protection du dessous des véhicules sont traités avec le secteur de la mise en peinture des voitures (cf. section relative à l'application de peinture).

**Autres utilisations de carbonates**

Les émissions déterminées dans cette section sont liées au phénomène de décarbonatation induit par l'utilisation de produits carbonés dans les techniques de désulfuration.

Certaines installations de chauffage urbain (5 sites) et certaines centrales thermiques (plus que deux sites sur quatre en 2022, un site a fermé en 2021 et un autre ne déclare plus de consommation de calcaire depuis 2020) sont équipées d'un système de désulfuration afin de réduire les émissions de $SO_2$. Ces techniques utilisent comme neutralisant un produit carboné tel que du calcaire ou du bicarbonate de soude. En chauffant, cette matière émet des émissions de $CO_2$.

*Chauffage urbain*

L'activité correspond à la consommation de produits utilisés (carbonate de calcium dans un cas depuis 1991, bicarbonate de sodium depuis 2008, 2012, 2020 et 2023 pour les quatre autres sites). Ces consommations sont déterminées site par site [19].

*Centrales thermiques*

L'activité correspond à la consommation de produits utilisés. Les quantités sont déterminées site par site. Diverses méthodes sont appliquées selon les cas rencontrés comme indiqué ci-dessous.

**Tableau 148 : Bilan des méthodes de détermination des consommations de produits utilisés dans les centrales thermiques**

| Centrales thermiques avec mise en œuvre de la désulfuration depuis 1999 | | Centrales thermiques avec mise en œuvre de la désulfuration de 1990 à 1998 |
|---|---|---|
| 1999-2004 | à partir de 2005 | Méthode C |
| Méthode B | Méthode A | |

Méthode A : Utilisation des déclarations annuelles de polluants [19].

Méthode B : Les consommations sont déterminées à partir des émissions de $CO_2$ liées à la décarbonatation qui sont connues via les déclarations annuelles de polluants [19] et du facteur d'émission associé à l'utilisation du calcaire, soit 440 kg $CO_2$/t calcaire [348 – tableau 5].

Méthode C : Données communiquées par les sites.

## 4.8.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant : https://www.citepa.org/donnees-air-climat/methodologie-de-linventaire-ominea/.

#### 4.8.2.1 Equipements électriques (2G1)

La méthode appliquée est de rang GIEC 2a.

**Emissions à la charge**

Chaque année le GIMELEC communique les quantités de $SF_6$ installées et les émissions associées déclarées par les producteurs d'équipements électriques [214]. A partir de 2014, les émissions de $SF_6$ proviennent des déclarations des industriels [19] et les consommations de $SF_6$ dans les nouveaux équipements chargés en France proviennent de l'Observatoire des fluides frigorigènes de l'ADEME [688. Les émissions sont estimées sur chaque site par bilan matière.

**Emissions pendant la durée de vie des équipements**

Les émissions de l'ensemble du réseau électrique sont estimées par Enedis (anciennement ErDF) [381] et RTE [215] à partir de 2008 et par EDF [773] à partir de 2010 puis déclarées annuellement dans leur rapport Développement Durable. RTE réalise des enquêtes pour déterminer la banque de $SF_6$ installée, les taux de fuites intrinsèques aux équipements et les taux de fuites à la maintenance. Pour les années antérieures, la quantité de $SF_6$ présente dans le parc français et le taux d'émission ont été estimés par EDF qui regroupait alors les entités RTE et Enedis. Ces trois opérateurs communiquent annuellement au Citepa les quantités de $SF_6$ présentes dans leurs équipements électriques. Ainsi, un facteur d'émission spécifique à la France peut être déduit. La part d'activité des autres producteurs, transporteurs et distributeurs d'électricité en France est estimée respectivement à 14 %, 0 % et variable en fonction des années (les données de consommation issues de la Loi de transition énergétique pour la croissance verte sont utilisées à partir de 2012 et varient de 3,4 % à 7,6 %) [908]. Ainsi, des émissions de $SF_6$ sont ajoutées pour ces opérateurs en supposant un même rendement au niveau de la maintenance des équipements électriques.

Les émissions des territoires d'Outre-mer sont estimées par territoire au prorata de la production d'électricité et en utilisant le même taux d'émission que celui de la métropole.

**Emissions à la fin de vie des équipements**

Les équipements électriques en fin de vie sont supposés apparaitre à partir de 2005. L'Observatoire des Fluides Frigorigènes de l'ADEME [688] recense depuis 2014 (relatif à l'année 2013) les quantités récupérées, recyclées et détruites issues des équipements électriques hors d'usage. La fraction de $SF_6$ restant dans les équipements au moment du retrait est fournie par une entreprise qui traite le $SF_6$ en fin de vie dans le but de l'envoyer au recyclage ou en destruction [696]. Ainsi, selon l'industriel, les normes imposent que les enveloppes soient vidangées à des pressions inférieures à 20 mbar en pression absolue équivalent à une vidange au minimum à 98,7 % pour des équipements classiques. Un taux de perte de 1,3 % est donc appliqué aux quantités de $SF_6$ récupérées. Les émissions de $SF_6$ sont ainsi estimées à l'aide de ce taux d'émission et des quantités de $SF_6$ des équipements en fin de vie. Il convient de signaler qu'il y a très peu d'équipements en fin de vie et que la plupart du temps la durée de vie de l'équipement électrique est prolongée par une maintenance plus importante. De plus, les quantités de $SF_6$ présentes dans les équipements peuvent varier significativement. Par conséquent, les quantités de $SF_6$ récupérées dans les équipements électriques en fin de vie peuvent varier de manière non négligeable d'une année à l'autre.

Une fois récupéré, le $SF_6$ est soit incinéré, soit recyclé/régénéré. En France, il existe un site de recyclage/régénération du $SF_6$ et un site d'incinération des déchets dangereux qui traite ce gaz fluoré. Les émissions du site de recyclage/régénération sont traitées en section 2B9 et les émissions issues de l'incinération sont négligées compte tenu de l'efficacité du taux de destruction du $SF_6$ supérieure à 99,99 %.

Les émissions de $SF_6$ des territoires d'Outre-mer sont estimées à l'aide des émissions de la Métropole et d'un ratio basé sur la production d'électricité.

#### 4.8.2.2 Autres utilisations de $SF_6$ et PFC (2G2)

Le niveau de méthode utilisé dépend des secteurs considérés.

**$SF_6$ utilisé dans les chaussures de sport**

Les quantités consommées sont communiquées pour les années 1990 à 1999 par la société commercialisant ce type de produit [216]. Les émissions sont calculées en considérant que l'intégralité du $SF_6$ est émis en deux ans.

**$SF_6$ utilisé dans le secteur industriel**

Les émissions de $SF_6$ sont estimées par bilan matière et sont déclarées aux DREAL [19] chaque année par les exploitants.

**$SF_6$ utilisé par les AWACS**

Les émissions de $SF_6$ sont fournies par l'Armée [556] ou extraites des déclarations des émissions [19] à partir de 2009 et déduites pour les années antérieures à partir de la moyenne des émissions entre 2009 et 2012. Elles sont calculées à partir du solde entre les quantités chargées dans les avions et celles qui sont récupérées lors des maintenances.

**$SF_6$ utilisé par les accélérateurs de particules**

Les émissions de $SF_6$ ont été estimées séparément pour les accélérateurs de particules des secteurs industriels, recherche/université et applications médicales.

*Accélérateurs industriels :*

Le parc d'accélérateurs de particules industriels est difficilement estimable par l'ASN (Autorité de Sureté Nucléaire). Par conséquent, le nombre d'accélérateurs de particules en France a été estimé à l'aide d'une étude allemande [650]. Il a été considéré en première approximation que le nombre d'accélérateurs industriels en France était identique à celui de l'Allemagne jusqu'en 2010 puis qu'il reste constant pour les années suivantes. Les facteurs d'émission des lignes directrices du GIEC 2006 ont été utilisés afin d'estimer les émissions de ce secteur.

*Accélérateurs de recherche/université :*

La méthode Tier 2 a été privilégiée. Les consommations et/ou émissions de $SF_6$ ont été communiquées par différents instituts de recherche et laboratoires en France, membres du réseau RASTA (Réseau d'Aides Scientifiques et Techniques des Accélérateurs) [910]. Ce réseau regroupe des personnels scientifiques et techniques autour des accélérateurs électrostatiques de type Van de Graaff, Pelletron, Tandetron, etc. et comptabilise une petite trentaine de laboratoires francophones sous diverses appartenances : CNRS, CEA et Universités. Lorsque des exploitants ne connaissaient pas le volume chargé ou les rejets de $SF_6$ à l'atmosphère, les paramètres indiqués dans les lignes directrices du GIEC 2006 ont été appliqués.

*Accélérateurs médicaux :*

L'approche employée pour calculer les émissions de $SF_6$ est la méthode Tier 1 du GIEC 2006 qui est basée sur le nombre total d'accélérateurs qui consomment du $SF_6$ dans le domaine médical. Le livre blanc de la radiothérapie en France [557] réalisé en 2013 recense le nombre et le type d'appareils de traitement présents en France en 2011 et donne une prévision pour 2012. L'institut national du cancer a publié l'évolution du nombre d'appareils de traitement de la radiothérapie en France pour les années 2012 et 2016 [969]. Entre 2012 et 2016, il a été considéré une progression linéaire constante du parc d'équipements. L'institut national du cancer indique que le parc d'équipement est passé de 537 à 607 appareils entre 2017 et 2021. En fonction du type d'équipements, le nombre d'appareils utilisant du $SF_6$ a pu être estimé. Le parc d'accélérateurs utilisés en radiothérapie a été estimé depuis 1990 par la SFPM (Société Française des Physiciens Médicaux). Ce nombre, en constante augmentation, est passé de 146 en 1990 à plus de 600 en 2021.

**$SF_6$ utilisé dans la recherche**

Les consommations ont été transmises par les organismes et instituts consommant du $SF_6$ dans leur activité [558], [651] et [652]. L'intégralité du $SF_6$ consommé est émis à l'atmosphère, le facteur d'émission utilisé est donc de 100 %.

**PFC utilisés dans d'autres applications techniques**

Les principaux producteurs/fournisseurs de PFC pour des applications techniques [217] et des applications médicales et cosmétiques [648] ont communiqué les ventes annuelles par type de PFC et par type d'application :

- Les applications ouvertes où l'usage est totalement émissif,
- Les applications confinées où les émissions sont plus restreintes (taux de fuite estimé à 5 %) [217].

Les PFC considérés pour les applications cosmétiques et médicales sont le $C_{10}F_{18}$, le $C_2F_6$, le $C_3F_8$ et le $C_6F_{14}$.

Le $C_{10}F_{18}$ est utilisé pour des applications cométiques (dans les crèmes pour le visage, en particulier anti-ride et pour accélérer la guérison après le resurfaçage au laser) et médicales (domaine de la chirurgie de l'œil).

Le $C_2F_6$ et le $C_3F_8$ sont utilisés pour des applications médicales (domaine de l'ophtalmologie).

Le $C_6F_{14}$ est utilisé presque exclusivement dans l'application de solvants.

Faute de méthodologies de calcul d'émission définie dans les lignes directrices du GIEC pour les applications médicales et cosmétiques, la France considère que l'intégralité des consommations de PFC (correspondant aux ventes de PFC) est émise durant l'année de vente.

#### 4.8.2.3 Autres utilisations de $N_2O$ (2G3)

**Anesthésie**

Les émissions sont déterminées proportionnellement à la population [96] en supposant que le cas français est proche du ratio moyen européen.

**Crème chantilly**

Le taux de $N_2O$ contenu dans un boitier de crème chantilly a été transmis par le CFA [561] et est égal à 6 g $N_2O$/unité. L'intégralité du $N_2O$ contenu dans les aérosols de crème chantilly est considéré être émis à l'atmosphère en un an. Par conséquent, un taux d'émission de 100 % est appliqué. Les émissions sont donc calculées en multipliant le nombre de boitiers de crème chantilly vendus en France par la quantité de $N_2O$ contenue dans un boitier.

#### 4.8.2.4 Autres (2G4)

##### 4.8.2.4.1 Cycle Organique de Rankine (ORC) (2G4.a)

Pour les systèmes de cycles organiques de Rankine (ORC), une première liste des systèmes ORC installés en France a été transmise par Enertime [774]. Certains autres systèmes ont été recensés sur le site internet suivant : https://orc-world-map.org/ et d'autres directement auprès des fabricants d'équipements.

En général, l'année de mise en service, le type de fluide, le secteur d'activité et la puissance installée sont connues pour chaque équipement. Les quantités de HFC installés ont soit été transmises par les opérateurs soit estimées à partir de la puissance installée selon le ratio de 3 tonnes de HFC par MW. Les facteurs d'émission sont tirés du NIR de l'Allemagne (pertes de 2 % à la charge et de 4 % pendant la durée de vie de l'équipement).

##### 4.8.2.4.2 Autres utilisations (2G4.b)

**Autres utilisations de solvants**

En ce qui concerne les secteurs de l'imprimerie (i.e. offset avec sécheur, édition, emballages souples et emballages métalliques), les activités proviennent des statistiques de production d'encre [111] qui sont traitées afin d'obtenir les consommations françaises. Les déclarations annuelles des industriels sont aussi considérées afin de prendre en compte les techniques mises en place spécifiquement pour réduire les émissions [19].

L'activité du secteur de l'extraction d'huiles comestibles et non comestibles est basée sur les données fournies par PROLEA jusqu'en 2004 [124], puis sur les déclarations annuelles des industriels à partir de 2004 [19].

Pour les secteurs de la protection du bois, de l'application de colles et de l'enduction de fibres de verre et de fibres minérales, les consommations des différents produits ainsi que leurs caractéristiques sont déduites des données fournies par les industriels [19, 50 et 111].

Pour le secteur de l'usage domestique de solvants (hors produits pharmaceutiques), l'activité provient des productions [1172], des imports et des exports [685] permettant de déduire les consommations des différents produits domestiques.

Pour le secteur de l'usage domestique de produits pharmaceutiques, l'activité est considérée égale à l'émission et reportée en masse de solvants.

Les émissions de $CO_2$ liées à la consommation de gel hydroalcoolique ont été estimées. Celles-ci sont calculées à l'aide des facteurs d'émission fournis par le Groupe Européen de l'Industrie des Solvants (ESIG), la population [96] et des données statistiques monétaires relatives aux désinfectants (import, export et production) [1215].

Les émissions de $CO_2$ traduisent la transformation du carbone contenu dans les émissions de COVNM en $CO_2$ ultime.

Cette conversion se fait sur la base de la teneur en carbone calculée à partir de la spéciation des COVNM, c'est-à-dire en fonction des substances émises par sous-secteur. La teneur en carbone globale des émissions de COVNM induites via cette nouvelle méthodologie est proche de 70 % sur toute la période et est cohérente avec les valeurs par défaut des lignes directrices 2006 du GIEC (50-70 %) [772].

**Autres utilisations de carbonates**

*Chauffage urbain*

Cinq sites de chauffage urbain mettent en œuvre une technique secondaire de désulfuration respectivement depuis 1991, 2008, 2012, 2020 et 2023.

Les émissions de $CO_2$ proviennent des déclarations annuelles de polluants [19].

*Centrales thermiques*

Quatre Deux centrales thermiques en fonctionnement sont équipées de systèmes de désulfuration afin de réduire les émissions de SO2 (1 site depuis 1990, 1 site depuis 1995 et 12 sites depuis 1999). La technique appliquée utilise comme neutralisant du calcaire. Les émissions sont déterminées de la même façon que la méthode décrite précédemment pour la consommation de produit.

## 4.8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 2G).

Les incertitudes sur les activités et facteurs d'émission estimées pour la catégorie 2G (sauf autres utilisations des solvants) dépendent du type de gaz à effet de serre puisque les sous-applications sont différentes les unes des autres. Ces valeurs sont basées sur l'avis des experts sectoriels.

Les incertitudes liées à l'activité sont respectivement égales à 5 %, 20 %, 10 %, 20 % et 30 % pour le $CO_2$, le $N_2O$, les HFC, les PFC et le $SF_6$.

Les incertitudes liées au facteur d'émission sont respectivement égales à 8 %, 1 %, 20 %, 10 % et 20 % pour le $CO_2$, le $N_2O$, les HFC, les PFC et le $SF_6$.

Pour le secteur 2G1, il convient de signaler qu'il y a très peu d'équipements en fin de vie et que la plupart du temps la durée de vie de l'équipement électrique est prolongée par une maintenance plus importante. De plus, les quantités de $SF_6$ présentes dans les équipements peuvent varier significativement. Par conséquent, les quantités de $SF_6$ récupérées dans les équipements électriques en fin de vie peuvent varier de manière non négligeable d'une année à l'autre. C'est ainsi que s'explique le pic des émissions en fin de vie en 2016 par rapport à 2015 et 2017.

Pour l'autre utilisation des solvants dans la catégorie 2G4.b, les incertitudes associées à cette catégorie sont liées au caractère diffus des émissions et de la multiplicité des composés et secteurs entrant en compte.

Ainsi, l'incertitude concernant l'activité est estimée à 15 % pour le $CO_2$ et 20 % pour le $CH_4$ et le $N_2O$. Concernant les facteurs d'émission, l'incertitude est de 40 % pour le $CO_2$ et 100 % pour le $CH_4$ et le $N_2O$. Ces incertitudes sont également basées sur l'avis des experts sectoriels.

La cohérence temporelle est respectée, les méthodologies utilisées étant appliquées sur toute la période.

## 4.8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

La France a participé en 2013/2014 à des échanges de revue bilatérale avec l'Allemagne sur l'inventaire des émissions de gaz fluorés. Lors de ces échanges, de multiples questions ont été posées concernant les grands principes de l'inventaire (complétude, cohérence,

transparence). Ainsi, les principes d'assurance qualité ont été contrôlés à travers cette revue croisée. Suite à ces échanges, certaines améliorations et corrections ont pu être effectuées.

Le Citepa contrôle chaque année s'il y a de nouveaux sites industriels émetteurs de $SF_6$ ou PFC en France à partir du registre déclaratif français [19] pour assurer l'exhaustivité des émissions des industriels.

Comme recommandé par les lignes directrices du GIEC 2006 pour le CRT 2G1, les facteurs d'émission à la charge, pendant la durée de vie et en fin de vie des équipements électriques de la France ont été comparés à ceux d'autres pays de l'Union européenne pour s'assurer de leur cohérence.

Comme recommandé par les lignes directrices du GIEC 2006 pour le CRT 2G1, les facteurs d'émission à la charge et pendant la durée de vie des équipements électriques ont été comparés aux facteurs d'émission par défaut des lignes directrices du GIEC 2006 afin de s'assurer de leur cohérence.

## 4.8.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 2G**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 1 639 | 1 982 | 1 537 | 1 333 | 1 188 | 1 149 | 1 197 | 1 107 | 967 | 970 | 1 000 | 1 047 | 985 | 899 | 841 | 808 | 716 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 1 645 | 1 988 | 1 543 | 1 333 | 1 178 | 1 144 | 1 194 | 1 105 | 965 | 966 | 996 | 1 043 | 982 | 896 | 837 | 804 | 709 | 601 |
| Différence | kt CO2e | +5,9 | +5,9 | +5,9 | 0 | -9,6 | -5,3 | -3,7 | -2,1 | -2,7 | -3,9 | -3,3 | -3,7 | -3,0 | -3,7 | -4,3 | -3,8 | -7,5 | +601 |
| | % | +0% | +0% | +0% | 0% | -1% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0,51% | -0% | -1% | - |

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

### 4.8.5.1 Equipements électriques (2G1)

**Description des recalculs**

Pas de recalcul

**Raison et justification**

Non concerné.

### 4.8.5.2 Autres (2G4)

#### 4.8.5.2.1 Autres utilisations (2G4.b)

**Autres utilisations de solvants**

**Description des recalculs**

Pas de recalcul.

**Raison et justification**

Non concerné.

**Autres utilisations de carbonates**

**Description des recalculs**

Pas de recalcul.

**Raison et justification**

Non concerné.

## 4.8.6 Suivi des recommandations des revues

À la suite de la revue CCNUCC de 2022, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| Sector / CRF category / issue | Review recommendation | Review report/ paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| **IPPU** 2.G.1 Electrical equipment – SF6 | The Party reported in its NIR (p.459) that recovery of SF6 emissions occurs in France from recycling and destruction of SF6. France also reported in the NIR (pp.455–466) that SF6 emissions from electrical equipment were estimated on the basis of data provided by ADEME through its national observatory of fluorinated gases, which collects data on recovery, recycling and destruction at decommissioning of electrical equipment. The Party stated in the NIR (p.459) that there is only one company in France that collects SF6 from electrical equipment and that the quantities recovered may vary between years. The ERT noted that France reported recovery of SF6 emissions (for recycling or destruction) as "NO" in CRF table 2(II).B-H (sheet 2) for the entire time series and did not report in the NIR information either on emissions from recycling or destruction activities or on the methodology used to estimate these emissions. As recovery of SF6 is occurring during decommissioning and maintenance of electrical equipment and data on all collected SF6 are provided by ADEME to Citepa, including on the amounts recycled and destroyed, during the review the ERT requested France to provide information on the method used for estimating emissions for category 2.G.1 electrical equipment. In its response, the Party confirmed that SF6 is recovered from electrical equipment in France and clarified that the emissions reported in CRF table 2(II).B-H (sheet 2) are related only to emissions from stock and disposal and do not include emissions from destruction and recycling. France provided a comprehensive explanation of the methodology used to estimate emissions from disposal, which is based on data provided by the destruction and recycling operating plants. France also provided data on the amounts of SF6 destroyed and the destruction factor used, which is based on measurements made and reported by the only one facility and verified by the environmental services od DRIRE (Regional Directorate for Industry, Research and Environment). Emissions from recycling could be estimated using the plant-specific factor of 1.3 per cent, which is very conservative considering that the plant measurements indicate a level of vacuuming which is higher than 98.7 per cent. The missing emissions calculated by the ERT using these parameters amounted to 0.0079 kt CO2 eq for 2020, which is below the threshold of significance for France (equal to 196.48 kt CO2 eq) and, therefore, the ERT did not include this issue in the possible list of potential problems and further questions raised. In response to a question raised by the ERT during the review about whether there are imports of SF6 to be destroyed or recycled by the single recycling and destruction plant operating in France, the Party clarified that there are imports of SF6 for destruction and recycling, according to the information provided by ADC3R (French association of distributors of refrigerant fluids), although the quantities for these activities are not currently reported on GEREP (the French electronic register for pollutant emissions). However, France confirmed that emissions reported on GEREP are based on the national rules for reporting activities and emissions from industrial plants, regardless of where the recovered products or waste originated. **The ERT recommends that the Party estimate and report SF6 emissions from SF6 recovery activities (recycling and destruction) in CRF table 2(II).B-H (sheet 2), ensuring consistency for the entire time series for category 2.G.1 electrical equipment and include recovery activities as part of the activities subject to QC procedures. The ERT also recommends that the Party describe in detail in the NIR the SF6 emissions sources for recovery activities (destruction and recycling), including data on SF6 imports for recycling or destruction for the entire** | 2022 Review ARR / I.16 | Partially implemented. SF6 emissions from recycling/regeneration in France have been calculated and reported in submission 2023, CRF Table2(II)B-Hs1 (CRF 2B9). More information have been added in the NIR 2023 to describe methodology used. SF6 emissions from destruction still need to be refined and included (even if it represents very low emissions). |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | **time series, and report on the methodology and AD used to estimate SF6 emissions, including all information provided during the review.** | | |
| IPPU 2.G.1 Electrical equipment – SF6 | France reported in the NIR (section 4.8.2.1, p.459) on the alternative AD used for the overseas territories in cases where data have not yet been collected to estimate SF6 emissions from electrical equipment. France used a ratio based on total SF6 emissions to total electricity production in mainland France to estimate SF6 emissions in the overseas territories considering the electricity production by territory. During the review, the ERT asked France to explain the rationale for using this ratio (SF6 emissions/MWh), established for mainland France and whether it is considered representative for the overseas territories. The Party confirmed that no information is available on AD and SF6 emissions for the overseas territories, and the ratio based on electricity production in mainland France was applied to the overseas territories for estimating SF6 emissions given that a more accurate method is not currently available. The ERT considers that when using such a ratio, it is assumed that the electrical grid in the overseas territories is comparable to that of mainland France, which might not be the case owing to the different contexts of overseas territories and mainland France. Nevertheless, taking into account this fact, the ERT considers that no significant over- or underestimations of SF6 emissions for this subcategory occurred. The ERT recommends that France use a ratio based on the length of transmission (and/or distribution) lines of the grid or the number of electrical substations for estimating SF6 emissions from electrical equipment in the overseas territories, which is more representative than power generation. The ERT also recommends that France consider the level of maintenance of equipment in the overseas territories compared with the level in mainland France and develop a maintenance factor for equipment in the overseas territories to be applied when estimating SF6 emissions. The ERT further recommends that the Party enhance the accuracy of the estimates by considering the different levels of maintenance of electrical equipment in the overseas territories, and estimate and report SF6 emissions from disposal and recovery in the overseas territories. | 2022 Review ARR / I.17 | Not yet implemented. |

## 4.8.7 Améliorations envisagées

Aucune amélioration prévue.

# 4.9 Autres procédés (CRT 2H)

## 4.9.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette catégorie ne regroupe que les émissions de $CO_2$ induites par la décarbonatation dans le secteur de la production de papier, comptabilisées dans le code CRT 2H1.

### 4.9.1.1 Décarbonatation pour la pâte à papier (2H1)

Ce secteur n'est pas une source clé en 2023.

Cette section ne traite que des émissions engendrées par la décarbonatation lors de la production de papier à l'exclusion des émissions relatives aux éventuelles installations de combustion connexes et des autres procédés spécifiques relatifs à l'industrie du bois.

Deux sites de production de papier en France consomment du bicarbonate de soude.

### 4.9.1.2 Production de sucre (2H2)

La quantité de $CO_2$ captée suite à la production de chaux lors de la production de sucre (secteur 2H2) est indiquée pour information dans les tables CRT au niveau du secteur 2H2. Les émissions nettes de $CO_2$ venant de la décarbonatation dans les installations productrices de sucre et qui autoproduisent la chaux nécessaire au procédé (quantité de $CO_2$ émise pour produire la chaux – quantité de $CO_2$ captée pour purifier le jus de sucre), sont incluses dans le total des émissions de $CO_2$ du secteur 2A2 (production de chaux).

## 4.9.2 Méthode d'estimation des émissions

### 4.9.2.1 Décarbonatation pour la pâte à papier (2H1)

Les émissions présentées dans cette section sont celles engendrées par la décarbonatation lors de la production de papier à l'exclusion des émissions relatives aux éventuelles installations de combustion connexes et des autres procédés spécifiques relatifs à l'industrie du bois.

Les émissions de procédé sont dues à l'utilisation de carbonates comme produits chimiques d'appoint. Bien que les pertes de sodium et de calcium du système de récupération et de la zone de caustification soient généralement compensées par des substances chimiques ne contenant pas de carbonates, du carbonate de calcium ($CaCO_3$) et du carbonate de sodium ($Na_2CO_3$), qui entraînent des émissions de $CO_2$, sont parfois utilisés en faibles quantités [257].

Le carbone contenu dans ces substances chimiques est généralement d'origine fossile, mais il peut dans certains cas provenir de la biomasse ($Na_2CO_3$ acheté à des installations fabriquant du papier mi-chimique à base de soude). Il est émis sous forme de $CO_2$ par le four à chaux ou le four de récupération.

D'après la profession [257], les quantités de produits chimiques carbonatés utilisées pour la fabrication de papier sont très faibles.

La méthodologie mise en œuvre pour estimer les émissions de $CO_2$ est de rang GIEC 2.

Deux sites de production de papier en France consomment du bicarbonate de soude.

Pour l'un des deux sites, la consommation de bicarbonate de soude et les émissions de $CO_2$ induites sont connues depuis 2014 via les déclarations annuelles [19]. Avant 2014, il est supposé que la consommation et les émissions sont constantes.

Pour le second site, la production de papier est connue depuis 2013 et la consommation de bicarbonate de soude est connue depuis 2019. A partir du ratio « bicarbonate de soude/production de papier » de l'année 2019, est ainsi calculée la consommation de bicarbonate de soude pour la période 2013-2018. Avant 2013, les données de consommations de bicarbonate de soude et de productions de papier sont les moyennes de la période 2013-2019 [19]. Les émissions de $CO_2$ induites par l'utilisation de bicarbonate de soude sont connues à partir de l'année 2019. Le facteur d'émission calculé en

2019 (t $CO_2$/t de bicarbonate de soude) est appliqué aux consommations calculées avant 2019 pour estimer les émissions associées.

Les données de consommation sont confidentielles.

#### 4.9.2.2 Production de sucre (2H2)

La production de chaux dans le secteur du **raffinage en sucrerie** (auto-producteur de chaux) émet des émissions de $CO_2$. L'estimation de la quantité de $CaCO_3$ contenue dans les roches calcaires utilisées par les sucriers est basée sur la quantité de betterave traitée [332]. Toutefois, une partie de la quantité de $CaCO_3$ se retrouve dans les écumes de sucrerie : un rendement de 98 % de récupération des carbonates de la roche dans les écumes est pris en compte, soit 2 % de pertes. Ce captage des émissions de $CO_2$ est indiqué pour information dans les tables CRT, au niveau du secteur 2H2.

Les émissions de $CO_2$ nettes venant de la décarbonatation, émises au niveau des sites de raffinage de sucre (= brutes - $CO_2$capté) sont incluses dans le secteur 2A2 (production de chaux) et correspondent donc à 2 % des carbonates utilisés dans le process.

## 4.9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 2H).

L'incertitude est de 5 % sur l'activité et de 10 % sur le facteur d'émission de $CO_2$.

La cohérence temporelle des séries est respectée. En effet, les données provenant des déclarations des exploitants utilisées pour les années récentes sont prises en compte pour estimer les émissions des années antérieures.

## 4.9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Les émissions provenant des déclarations annuelles des exploitants sont vérifiées par les autorités locales (DREAL) puis validées par le Ministère chargé de l'Environnement. De plus, dans le cadre du SEQE, les émissions de $CO_2$ sont vérifiées par un organisme agréé avant d'être transmises aux autorités.

## 4.9.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 2H**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +0.094 |
| | % | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /2.H

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

2H1 : pas de recalculs.

## 4.9.6 Améliorations envisagées

Pas d'améliorations envisagées.




# 5. AGRICULTURE (CRT 3)

# 5.1 Présentation générale du secteur

Cette catégorie regroupe l'ensemble des émissions liées à l'agriculture en dehors des émissions liées à la consommation d'énergie (engins agricoles, chauffage des locaux, etc.) incluses dans le secteur CRT 1A4c, et des émissions de $CO_2$ incluses dans le secteur CRT 4 UTCATF (carbone des sols et biomasse).

Les différents postes d'émission du secteur agricole décrits dans cette partie sont listés ci-dessous et présentés sur le schéma suivant :

- Emissions liées à l'élevage :
  - Fermentation entérique : $CH_4$
  - Bâtiments d'élevage : $CH_4$, $N_2O$, $NH_3$, NOx, COVNM, PM
  - Stockage fumier/lisier : $CH_4$, $N_2O$, $NH_3$, NOx, COVNM
  - Epandage fumier/lisier : $N_2O$, $NH_3$, NOx, COVNM
  - Pâture : $CH_4$, $N_2O$, $NH_3$, NOx, COVNM

- Emissions liées à la fertilisation (autre que l'épandage des fumiers/lisiers précité) :
  - Fertilisation azotée minérale : $N_2O$, $NH_3$, NOx
  - Autre fertilisation organique comprenant les boues, les composts, les digestats et les déjections importées : $N_2O$, $NH_3$, NOx

- Emissions liées à l'utilisation de pesticides : HCB
- Emissions liées aux rizières : $CH_4$
- Emissions liées au travail du sol : PM
- Emissions liées au brûlage des résidus de récolte : nombreux polluants
- Emissions de $CO_2$ liées à l'épandage d'urée d'engrais contenant du carbone (calcium ammonium nitrate, notés CAN) et d'amendements basiques (chaulage).

NB : le calcul des émissions de $CH_4$ et de $N_2O$ liées à la gestion des déjections selon les lignes directrices du Giec 2019 regroupe les postes bâtiment et stockage. Ils sont présentés séparément sur le schéma ci-dessous mais les calculs sont effectués en regroupant ces deux postes (voir section « Gestion des déjections animales - 3.B »).

Pour un maximum de clarté, cette section présente une partie commune détaillée sur la caractérisation de l'élevage et des cultures car ces données impactent différentes sources d'émissions traitées séparément dans les inventaires.

L'ensemble des postes d'émissions a été estimé selon le raffinement 2019 des lignes directrices du GIEC 2006.

A noter : dans l'ensemble des équations détaillées dans ce chapitre, apparaissent les facteurs suivants :

- 44/28 : facteur de conversion, correspondant au ratio des masses molaires, pour passer du (N-$N_2O$) au $N_2O$
- 17/14 : facteur de conversion, correspondant au ratio des masses molaires, pour passer du (N-$NH_3$) au $NH_3$
- 46/14 : facteur de conversion, correspondant au ratio des masses molaires, pour passer du (N-NO) au $NO_2$

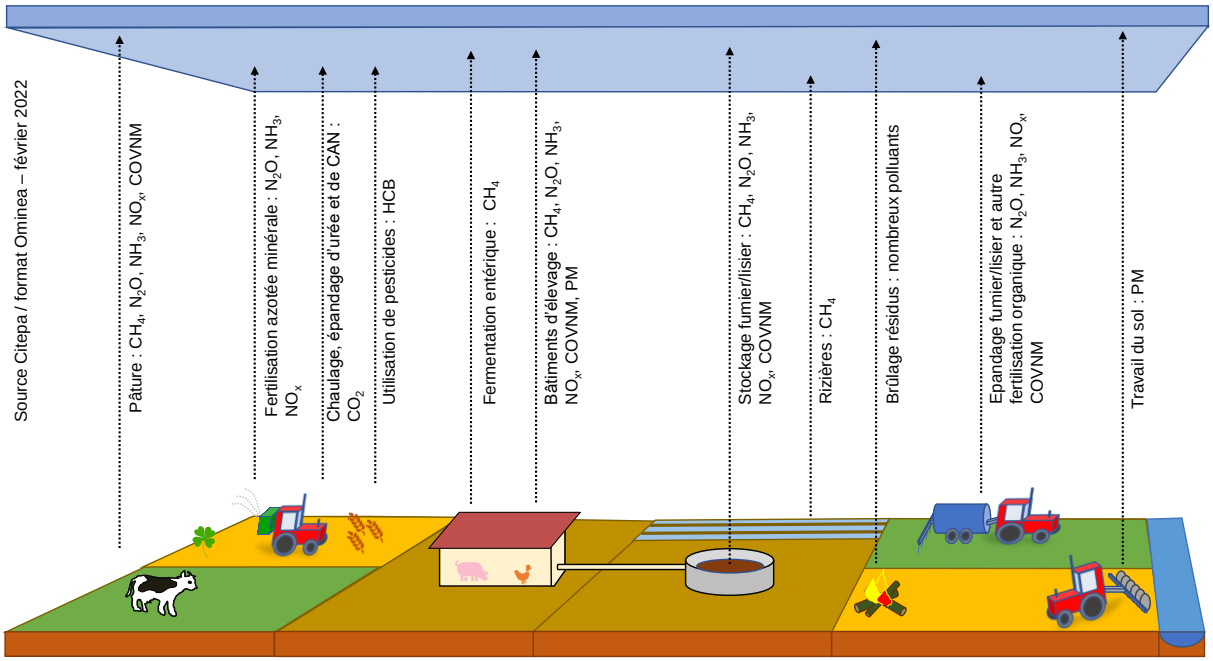



**Figure 134: Postes d'émission et polluants associés en agriculture**

**Tableau 149 : Émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture**

| AGRICULTURE (périmètre France UE) | | | Secteurs-d.xlsx | |
|---|---|---|---|---|
| | 1990 | | 2023 | |
| Substances | Emissions en $CO_2$ eq (kt) | % du total national hors UTCATF | Emissions en $CO_2$ eq (kt) | % du total national hors UTCATF |
| $CO_2$ | 1 905 | 0,5% | 2 122 | 0,8% |
| $CH_4$ | 53 694 | 65,6% | 43 329 | 71,3% |
| $N_2O$ | 26 894 | 50,1% | 20 941 | 77,7% |
| HFC | 0 | 0% | 0 | 0% |
| PFC | 0 | 0% | 0 | 0% |
| $SF_6$ | 0 | 0% | 0 | 0% |
| $NF_3$ | 0 | 0% | 0 | 0% |
| $CO_2e$ | 82 492 | 15,1% | 66 391 | 17,7% |

source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

L'agriculture est un émetteur prépondérant pour le $N_2O$ et le $CH_4$ avec, en 2023, respectivement 77,7 % et 71,3 % des émissions de la France tous secteurs confondus hors UTCATF pour chacun des gaz au périmètre UE, ce qui place ce secteur au premier rang pour ces deux gaz à effet de serre. En revanche le secteur agricole, tel que rapporté au format CRT, n'émet que très peu de $CO_2$, les seules sources de $CO_2$ étant le chaulage des terres et l'épandage d'urée minérale et d'engrais contenant du carbone (calcium ammonium nitrate, notés CAN) sur les sols agricoles. La part de l'agriculture pour le $N_2O$ est en augmentation depuis 1990, bien que les émissions soient en baisse, ce qui s'explique par la chute des émissions de $N_2O$ dans les secteurs industriels. Le même constat est fait, dans une moindre mesure, pour le $CH_4$.

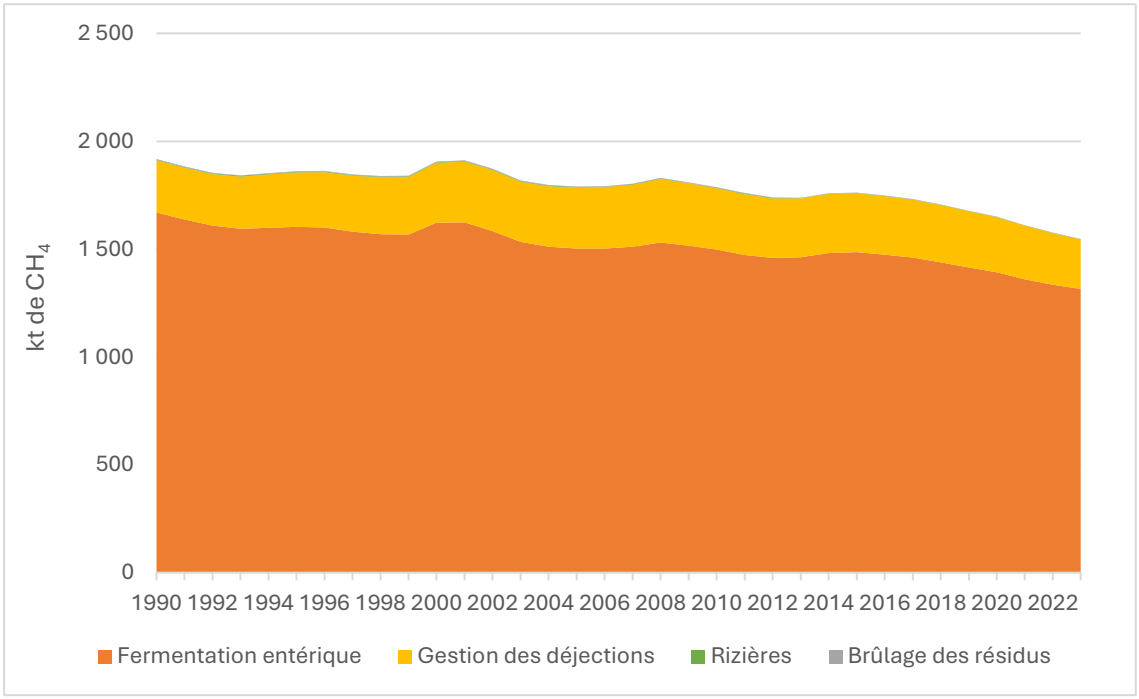



**Figure 135: Evolution des émissions de $CH_4$ (kt) du secteur agricole - Périmètre UE**

Les émissions de $CH_4$ ont diminué d'environ 20% sur la période 1990-2023 du fait notamment de la baisse du cheptel bovins, en particulier des vaches laitières. Cependant, d'autres paramètres comme l'augmentation des systèmes de gestion des déjections sous forme de lisier contribuent inversement à cette tendance.

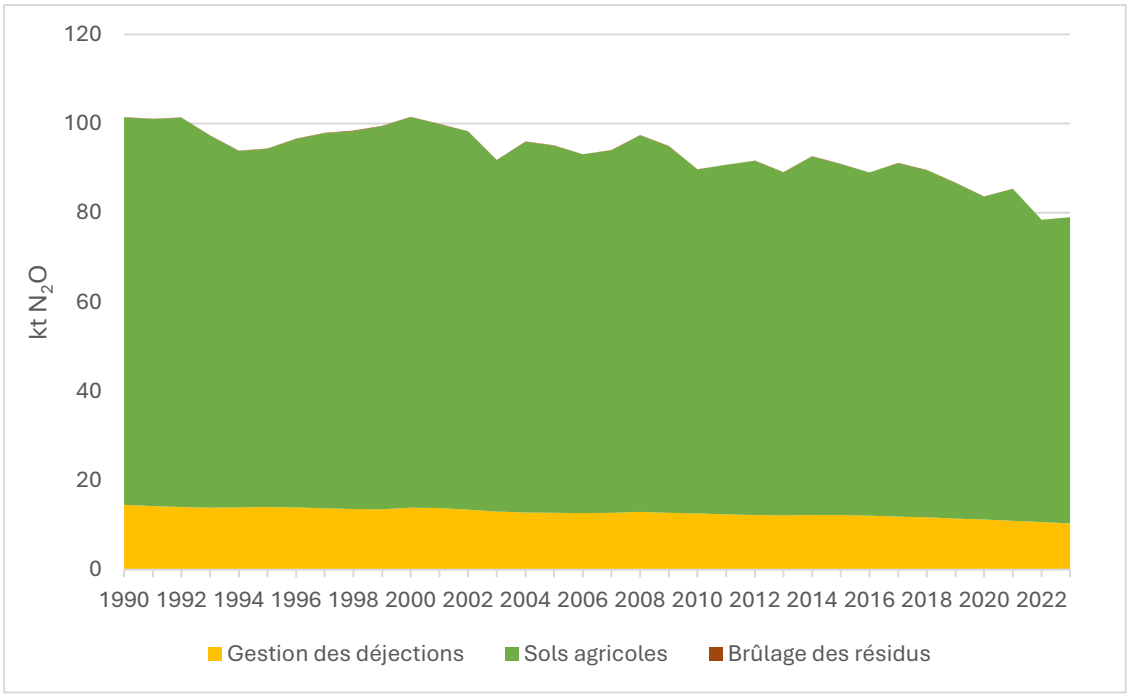



**Figure 136 : Evolution des émissions de $N_2O$ (kt) du secteur agricole - Périmètre UE**

La baisse des émissions constatée entre 1990 et 2023 pour le $N_2O$ (- 22%) s'explique par une moindre utilisation de fertilisants azotés minéraux et une diminution du cheptel bovin engendrant une réduction à la fois de l'azote excrété à la pâture et de l'azote organique à épandre.

**Tableau 150 : Substances pour lesquelles le secteur CRT 3 est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | GES | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 3A – Enteric Fermentation | $CH_4$ | 2ème | 9,8 % | 11ème | 2,3 % |
| 3B – Manure management | $CH_4$ | 14ème | 1,7 % | 26ème | 0,8 % |
| 3B – Manure management | $N_2O$ | 26ème | 0,7 % | - | - |
| 3D1 - Direct $N_2O$ emissions from managed soils | $N_2O$ | 4ème | 3,7 % | 28ème | 0,8 % |
| 3D2 - Indirect $N_2O$ emissions from managed soils | $N_2O$ | 19ème | 1,1 % | 53ème | 0,3% |
| 3H – Urea application | $CO_2$ | 43ème | 0,3 % | - | - |

## Système PACRETE pour l'élevage

L'estimation précise des émissions liées à l'élevage est un travail complexe qui nécessite notamment de compiler beaucoup d'informations issues de sources différentes. Un système a donc été mis en place au niveau des inventaires français pour gérer au mieux ces calculs : le système PACRETE (Programme Access pour le Calcul Régionalisé des Emissions aTmosphériques de l'Elevage). Le système PACRETE permet de rassembler des données régionales, issues de différentes sources, sur les effectifs animaux, l'alimentation, les types de bâtiments d'élevage, les pratiques d'épandage des effluents, le temps passé au pâturage, etc. Il permet ensuite de calculer, au niveau régional et de manière cohérente, l'ensemble des émissions liées à l'élevage en métropole. Les explications suivantes font partie intégrante de ce système.

A noter : le système PACRETE est utilisé uniquement pour la France métropolitaine. Pour l'Outre-mer, les méthodes appliquées sont les mêmes mais les calculs sont effectués directement sous Excel.

## La réforme des régions françaises

En 2015, la division territoriale de la France a été réformée, prenant effet à compter du 1er janvier 2016. Le nombre de régions métropolitaines est passé de 22 à 13 (dont la Corse). Le tableau ci-dessous présente les correspondances entre anciennes et nouvelles régions.

**Tableau 151 : Correspondances entre anciennes et nouvelles régions**

| Nouveaux noms | | Anciens noms | |
|---|---|---|---|
| 11 | Ile-de-France | 11 | Ile-de-France |
| 24 | Centre-Val de Loire | 24 | Centre |
| 27 | Bourgogne-Franche-Comté | 43 | Franche-Comté |
| | | 26 | Bourgogne |
| 28 | Normandie | 23 | Haute-Normandie |
| | | 25 | Basse-Normandie |
| 32 | Hauts-De-France | 22 | Picardie |
| | | 31 | Nord-Pas-de-Calais |
| 44 | Grand-Est | 21 | Champagne-Ardenne |
| | | 42 | Alsace |
| | | 41 | Lorraine |
| 52 | Pays de la Loire | 52 | Pays de la Loire |
| 53 | Bretagne | 53 | Bretagne |
| 75 | Nouvelle-Aquitaine | 54 | Poitou-Charentes |
| | | 72 | Aquitaine |
| | | 74 | Limousin |
| 76 | Occitanie | 91 | Languedoc-Roussillon |
| | | 73 | Midi-Pyrénées |
| 84 | Auvergne-Rhône-Alpes | 82 | Rhône-Alpes |
| | | 83 | Auvergne |
| 93 | Provence-Alpes-Côte d'Azur | 93 | Provence-Alpes-Côte d'Azur |
| 94 | Corse | 94 | Corse |

Les calculs d'inventaire dans le système PACRETE sont effectués au niveau des anciennes régions, présentant des périmètres plus petits ce qui permet d'avoir des données à une échelle plus fine. En revanche, cela implique parfois de retraiter les données d'activité qui, pour certaines d'entre elles, sont désormais disponibles uniquement au périmètre agrégé des nouvelles régions.

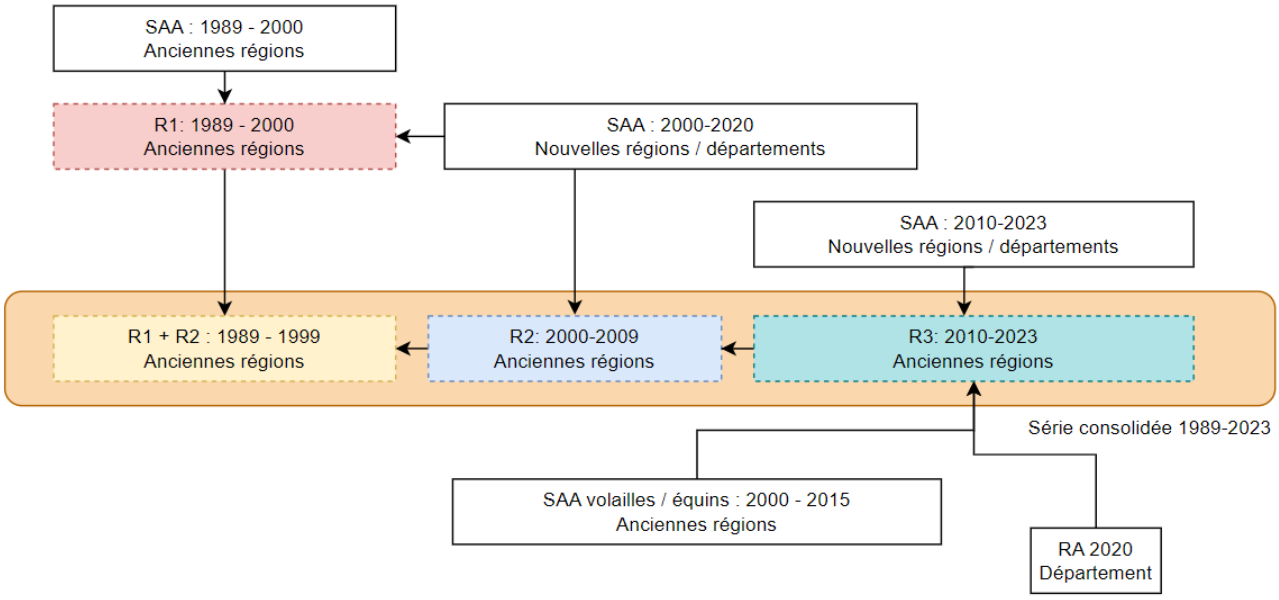
## Cheptels

Les données de cheptels utilisées dans le cadre de l'inventaire national proviennent de la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée par le SSP [410], service statistique du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA). Cette statistique est établie chaque année grâce à des sondages aléatoires sur un échantillon représentatif, et complétée grâce aux informations fournies par les recensements agricoles qui ont lieu sur un pas de temps plus long, tous les 10 ans en France, le dernier ayant eu lieu en 2020. Des sources de données additionnelles sont disponibles pour l'Outre-mer [400, 401, 1037 à 1047, 1139]. Il est important de préciser que, à l'instar de beaucoup de statistiques, le système statistique agricole a évolué au cours du temps. Un travail de mise en cohérence a été effectué, de manière à garantir une catégorisation stable depuis 1980, comme requis par les exigences de rapportage.

### Traitement des données

Le schéma ci-dessous représente les différents traitements effectués sur les données de la statistique agricole pour obtenir des séries cohérentes sur la période :

**Figure 137 : Récapitulatif des méthodes d'ajustement de la statistique agricole annuelle (SAA)**




Les données d'effectifs animaux sont disponibles sous la forme de trois séries : de 1989 à 2000 (jeu « historique 1 »), de 2000 à 2020 (« jeu historique 2 ») et de 2010 à 2023 (jeu « récent »).

Les trois jeux de données sont liés entre eux selon l'année de recouvrement correspondant à une année de recensement agricole (2000, 2010, 2020). Plusieurs types de retraitements peuvent être effectués afin de reconstituer des séries statistiques cohérentes sans rupture de série, de périmètre géographique ou de catégorie animale.

R1 : Mise en cohérence des catégories animales

Un premier retraitement a été effectué dans les cas où les catégorisations animales n'étaient pas identiques entre les deux séries 1989-2000 et 2000-2020, correspondant au « Retraitement R1 » sur le schéma ci-dessus. Si une catégorie animale plus détaillée est disponible dans le jeu de données le plus proche (par exemple, pour les bovins autres que les vaches laitières et les vaches nourrices, la série historique ne donne qu'une valeur "ensemble espèce bovine", tandis que le jeu 2000-2020 fournit 13 catégories bovines différentes hors vaches laitières et nourrices), la répartition des différentes catégories animales de l'année 2000 est appliquée à la valeur agrégée disponible de 1989 à 1999.

R2 : Mise en cohérence des séries temporelles

Un second retraitement, nommé « retraitement R2 » a été effectué pour s'assurer de la cohérence des séries sur la période. Pour une même catégorie animale, à chaque année pivot (2000,2010) si le décalage entre l'ancienne et la nouvelle série est supérieur à 10% le jeu

de donnée le plus ancien est corrigé sur la base de l'écart observé l'année pivot. Si l'écart entre l'ancienne et la nouvelle série est inférieur à 10% aucun retraitement n'est effectué et la série historique est conservée.

R3 : Mise en cohérence territoriale

Depuis 2016, le nombre de régions métropolitaines est passé de 22 à 13. Des nouvelles séries statistiques ont été publiées suite à cette modification, couvrant la période de l'année 2000 à l'année en cours. Les catégorisations proposées et les données d'effectifs dans ces nouvelles séries sont identiques à celles de la période 2000-2015. En revanche, le périmètre géographique change.

Les données pour les bovins, porcins, ovins et caprins sont disponibles par département (échelle territoriale en dessous de celle de la région), ce qui permet de reconstituer les anciennes régions, en agrégeant les départements pertinents. En revanche, pour les équins, volailles et lapins, les données ne sont disponibles qu'au niveau des nouvelles régions. Pour ces catégories, un retraitement, nommé « Retraitement R3 » sur le schéma ci-dessus, a été effectué sur la base des données des anciennes séries SAA (année 2015) ainsi que des données du recensement agricole de 2020. La répartition du cheptel selon les anciennes régions évolue entre 2015 et 2020 pour tendre vers la répartition du recensement agricole puis reste stable entre 2020 et 2023. A noter que certaines régions sont restées stables suite à la réforme territoriale, notamment la Bretagne et les Pays de la Loire, ce dernier retraitement a donc un impact relativement limité sur les calculs d'émission qui suivent.

Cas particulier des porcins :

Pour les porcins, cinq catégories sont distinguées dans la SAA : porcelets, jeunes porcs de 20 à moins de 50kg, porcs à l'engrais de 50kg et plus, truies de 50kg et plus, et verrats de 50kg et plus. Un travail de vérification de la cohérence entre effectifs et productions a été effectué, en comparant la chaîne d'effectifs « porcelets – jeunes porcs de 20 à moins de 50kg – porcs à l'engrais de 50kg et plus » avec les données de productions fournies par la SAA.

Suite à cette analyse, il est apparu que la catégorie « porcelets » proposée dans la SAA pouvait être surestimée, car la statistique est évaluée à un moment précis de l'année, moment durant lequel une catégorie peut être plus représentée qu'une autre du fait des durées différentes passées par stade d'élevage. Le retraitement suivant a été effectué pour refléter au mieux la situation réelle de l'élevage porcin :

La catégorisation proposée par la SAA (porcelets, jeunes porcs de 20 à moins de 50kg, porcs à l'engrais de 50kg et plus) a été abandonnée au profit de la suivante, jugée plus pertinente pour l'application, par la suite, des méthodes d'estimation des émissions : porcelets non sevrés (<8kg), porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg), porcs à l'engrais supérieur à 30kg.

Les données d'effectifs des trois anciennes catégories de la SAA ont été sommées, puis réparties au prorata du temps passé par stade, méthode jugée plus fiable pour répartir les effectifs selon les nouvelles catégories définies. Ces temps passés par stade sont évalués à partir d'un outil développé par l'Institut du porc (IFIP) [759] permettant d'obtenir des courbes de croissance selon les poids d'entrée, de sortie et le gain moyen quotidien. Ces trois paramètres, qui varient depuis 1990, sont tirés des documents de Gestion Technico-économiques qui étaient publiés chaque année par l'IFIP jusqu'en 2016 [505]. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Des valeurs approchées pour 2020 à 2023 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020.

A noter : la part du temps passé par stade ne varie pas fortement au cours du temps. Le temps passé au stade porcelets non sevrés (<8kg) sur la période varie entre 13,2% et 15,2%, celui passé au stade porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg) varie entre 25,5% et 29%, et celui passé au stade porcs à l'engrais supérieur à 30kg varie entre 56,0% et 61,3%.

**Tableau 152 : Correspondances entre les catégories SAA et les catégories de l'inventaire pour les porcins**

| | | Catégorisation choisie pour les inventaires* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Porcelets non sevrés (<8kg) | Porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg) | Porcs à l'engrais supérieur à 30kg | Truies de 50kg et plus | Verrats de 50kg et plus |
| Catégorisation disponible dans la SAA | Porcelets | 13,5% | 25,9% | 60,6% | | |
| | Jeunes porcs de 20 à moins de 50kg | | | | | |
| | Porcs à l'engrais de 50kg et plus | | | | | |
| | Truies de 50kg et plus | | | | 100% | |
| | Verrats de 50kg et plus | | | | | 100% |

*Les pourcentages d'allocation varient légèrement en fonction de l'année, ici sont présentés les % de 2023

Source Citepa / format Ominea février 2025 Graph_Ominea_3.xls/Repart_Porcins

**Tableau 153 : Evolution du cheptel porcin détaillée par catégories fines (Métropole uniquement)**

| | Porcelets non sevrés (<8kg) | Porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg) | Porcs à l'engrais supérieur à 30kg | Truies de 50kg et plus | Verrats de 50kg et plus |
|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 1 656 368 | 3 165 714 | 6 155 534 | 1 211 482 | 64 977 |
| 1991 | 1 685 303 | 3 203 027 | 6 220 565 | 1 250 484 | 63 419 |
| 1992 | 1 726 208 | 3 381 927 | 6 546 366 | 1 318 557 | 61 993 |
| 1993 | 1 788 933 | 3 484 464 | 6 788 428 | 1 330 958 | 58 102 |
| 1994 | 1 850 500 | 3 486 505 | 6 995 987 | 1 353 282 | 56 618 |
| 1995 | 1 877 752 | 3 528 967 | 7 028 417 | 1 377 027 | 51 373 |
| 1996 | 1 884 547 | 3 657 137 | 7 342 192 | 1 422 397 | 48 626 |
| 1997 | 1 928 494 | 3 670 947 | 7 480 553 | 1 461 480 | 46 149 |
| 1998 | 1 956 664 | 3 670 524 | 7 672 421 | 1 445 856 | 45 451 |
| 1999 | 1 969 124 | 3 737 367 | 7 607 528 | 1 416 732 | 41 242 |
| 2000 | 2 001 455 | 3 792 497 | 7 699 389 | 1 416 393 | 41 070 |
| 2001 | 2 033 048 | 3 853 244 | 8 061 568 | 1 377 798 | 37 269 |
| 2002 | 2 028 444 | 3 771 033 | 8 126 937 | 1 347 839 | 34 407 |
| 2003 | 1 998 738 | 3 723 174 | 8 062 692 | 1 303 733 | 30 850 |
| 2004 | 1 970 532 | 3 735 046 | 7 971 266 | 1 266 606 | 28 557 |
| 2005 | 1 947 515 | 3 640 946 | 7 974 444 | 1 243 800 | 26 435 |
| 2006 | 1 908 341 | 3 612 018 | 7 944 803 | 1 228 652 | 22 492 |
| 2007 | 1 860 148 | 3 627 126 | 7 985 985 | 1 197 926 | 21 158 |
| 2008 | 1 860 920 | 3 635 164 | 7 927 273 | 1 170 533 | 21 693 |
| 2009 | 1 841 642 | 3 513 052 | 7 836 906 | 1 148 992 | 20 135 |
| 2010 | 1 822 851 | 3 515 122 | 7 721 556 | 1 105 064 | 19 257 |
| 2011 | 1 785 145 | 3 441 114 | 7 576 797 | 1 091 287 | 18 089 |
| 2012 | 1 773 533 | 3 377 961 | 7 493 490 | 1 059 195 | 17 562 |
| 2013 | 1 731 858 | 3 279 945 | 7 404 291 | 1 029 961 | 16 724 |
| 2014 | 1 709 691 | 3 234 647 | 7 343 007 | 1 022 297 | 15 926 |
| 2015 | 1 634 759 | 3 169 759 | 7 390 641 | 1 003 739 | 15 486 |
| 2016 | 1 569 098 | 3 035 191 | 7 110 702 | 971 492 | 14 501 |
| 2017 | 1 607 328 | 3 105 320 | 7 321 063 | 980 181 | 14 405 |
| 2018 | 1 652 443 | 3 188 590 | 7 564 792 | 999 538 | 14 142 |
| 2019 | 1 635 379 | 3 151 856 | 7 524 604 | 960 290 | 13 138 |
| 2020 | 1 634 563 | 3 146 517 | 7 558 836 | 952 435 | 13 199 |
| 2021 | 1 588 766 | 3 063 858 | 7 295 927 | 919 580 | 12 111 |
| 2022 | 1 526 669 | 2 941 384 | 6 874 630 | 869 502 | 11 994 |
| 2023 | 1 480 680 | 2 852 778 | 6 667 540 | 856 491 | 10 953 |

Ainsi, les différents retraitements effectués permettent de garantir une catégorisation stable depuis 1990, détaillée en 42 catégories, qui sont généralement agrégées par grandes catégories :

**Tableau 154 : Catégories et sous-catégories de l'inventaire**

| Catégories et sous-catégories de l'inventaire | |
|---|---|
| Vaches laitières | |
| Autres bovins | Vaches nourrices |
| | Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans |
| | Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans |
| | Génisses de boucherie de plus de 2 ans |
| | Mâles de type laitier de plus de 2 ans |
| | Mâles de type viande de plus de 2 ans |
| | Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans |
| | Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans |
| | Génisses de boucherie de 1 à 2 ans |
| | Mâles de type laitier de 1 à 2 ans |
| | Mâles de type viande de 1 à 2 ans |
| | Veaux de boucherie |
| | Autres femelles de moins de 1 an |
| | Autres mâles de moins de 1 an |
| Truies de 50 kg et plus | |
| Autres porcins | Porcelets non sevrés (<8kg) |
| | Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg) |
| | Verrats de 50 kg et plus |
| | Porcs à l'engrais (>30kg) |
| Caprins | Chevrettes |
| | Chèvres (femelles ayant mis bas) |
| | Autres caprins (y compris boucs) |
| Ovins | Agnelles |
| | Brebis mères allaitantes (y c. réforme) |
| | Brebis mères laitières (y c. réforme) |
| | Autres ovins (y compris béliers) |
| Chevaux | Chevaux de selle, sport, loisirs et course |
| | Chevaux lourds |
| Mules et ânes | Anes, mulets, bardots |
| Volailles | Poules pondeuses d'œufs à couver |
| | Poules pondeuses d'œufs de consommation |
| | Poulettes |
| | Poulets de chair (y compris coqs et coquelets) |
| | Canards à gaver |
| | Canards à rôtir |
| | Dindes et dindons (au 1er octobre) |
| | Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver) |
| | Pintades |
| | Cailles d'élevage |
| Autres | Lapines reproductrices |
| | Cervidés d'élevage (uniquement en Nouvelle-Calédonie) |

Il faut noter que cette catégorisation, à partir de laquelle les calculs sont effectués au sein de PACRETE, est plus fine que les catégories CRT/NFR. Cela pourra être à l'origine de variations des facteurs d'émission agrégés d'une année sur l'autre au niveau des catégories CRT/NFR, car les proportions des effectifs des catégories fines peuvent varier au sein d'une catégorie agrégée CRT/NFR.

**Tableau 155 : Cheptels bovins, porcins, ovins et caprins (nombre de têtes) au périmètre UE sur la période d'inventaire**

| | Vaches laitières | Autres bovins | Truies | Autres porcins | Ovins | Caprins |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 5 309 879 | 16 392 078 | 1 233 586 | 11 205 908 | 11 384 979 | 1 348 132 |
| 1991 | 5 030 532 | 16 363 884 | 1 270 961 | 11 332 781 | 11 017 582 | 1 335 258 |
| 1992 | 4 762 044 | 16 171 161 | 1 340 987 | 11 870 591 | 10 733 663 | 1 301 735 |
| 1993 | 4 639 292 | 16 083 874 | 1 351 460 | 12 265 978 | 10 466 951 | 1 275 286 |
| 1994 | 4 611 989 | 16 119 571 | 1 371 354 | 12 526 258 | 10 383 982 | 1 258 585 |
| 1995 | 4 521 433 | 16 300 374 | 1 392 962 | 12 610 299 | 10 265 394 | 1 297 953 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1996 | 4 431 081 | 16 375 980 | 1 438 057 | 13 056 574 | 10 145 029 | 1 313 402 |
| 1997 | 4 322 610 | 16 180 842 | 1 476 260 | 13 242 930 | 9 961 033 | 1 301 912 |
| 1998 | 4 263 985 | 16 083 477 | 1 460 011 | 13 462 441 | 9 847 474 | 1 302 584 |
| 1999 | 4 222 968 | 16 128 007 | 1 430 352 | 13 473 300 | 9 705 361 | 1 298 311 |
| 2000 | 4 329 724 | 17 248 248 | 1 435 287 | 13 649 195 | 9 556 533 | 1 301 506 |
| 2001 | 4 344 205 | 17 121 177 | 1 396 369 | 14 100 071 | 9 430 831 | 1 324 695 |
| 2002 | 4 272 449 | 16 472 076 | 1 365 207 | 14 078 858 | 9 337 786 | 1 331 165 |
| 2003 | 4 123 155 | 15 888 784 | 1 321 096 | 13 940 435 | 9 293 082 | 1 334 257 |
| 2004 | 4 040 611 | 15 709 651 | 1 282 721 | 13 831 265 | 9 190 433 | 1 328 786 |
| 2005 | 3 979 348 | 15 671 953 | 1 258 950 | 13 700 373 | 9 111 179 | 1 339 985 |
| 2006 | 3 888 099 | 15 877 914 | 1 242 824 | 13 590 369 | 8 864 245 | 1 354 031 |
| 2007 | 3 876 334 | 16 091 593 | 1 211 984 | 13 599 355 | 8 564 694 | 1 352 703 |
| 2008 | 3 856 380 | 16 301 467 | 1 184 525 | 13 551 057 | 8 162 759 | 1 363 423 |
| 2009 | 3 747 898 | 16 226 642 | 1 162 782 | 13 318 012 | 8 062 526 | 1 419 347 |
| 2010 | 3 718 892 | 15 853 082 | 1 116 766 | 13 170 354 | 7 958 553 | 1 449 110 |
| 2011 | 3 666 660 | 15 437 741 | 1 103 066 | 12 912 391 | 7 652 960 | 1 398 474 |
| 2012 | 3 645 708 | 15 379 588 | 1 070 750 | 12 753 285 | 7 466 003 | 1 329 700 |
| 2013 | 3 699 742 | 15 415 972 | 1 041 248 | 12 520 513 | 7 260 746 | 1 308 534 |
| 2014 | 3 700 961 | 15 567 846 | 1 033 742 | 12 393 251 | 7 215 663 | 1 303 508 |
| 2015 | 3 663 695 | 15 743 282 | 1 014 981 | 12 299 066 | 7 111 295 | 1 283 370 |
| 2016 | 3 636 812 | 15 736 642 | 983 378 | 11 823 096 | 7 102 837 | 1 269 650 |
| 2017 | 3 596 600 | 15 356 926 | 991 884 | 12 140 651 | 6 970 278 | 1 293 321 |
| 2018 | 3 554 390 | 15 072 036 | 1 010 794 | 12 509 845 | 7 104 917 | 1 324 384 |
| 2019 | 3 490 506 | 14 682 137 | 971 747 | 12 418 025 | 7 029 488 | 1 325 675 |
| 2020 | 3 405 444 | 14 409 343 | 964 632 | 12 442 808 | 6 968 945 | 1 415 580 |
| 2021 | 3 324 720 | 14 002 647 | 931 950 | 12 050 813 | 6 920 199 | 1 393 663 |
| 2022 | 3 233 724 | 13 758 289 | 881 070 | 11 442 993 | 6 665 875 | 1 378 366 |
| 2023 | 3 164 773 | 13 619 744 | 867 982 | 11 098 112 | 6 623 502 | 1 343 626 |

**Tableau 156 : Cheptels équins, volailles et lapines au périmètre UE sur la période 1990-2023**

| | Chevaux | Mules et ânes | Poules | Poulets | Autres volailles | Lapines reproductrices |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 235 318 | 12 489 | 74 062 523 | 126 227 069 | 68 620 858 | 2 191 756 |
| 1991 | 239 591 | 12 988 | 75 169 139 | 129 299 796 | 70 857 233 | 2 144 889 |
| 1992 | 244 931 | 13 343 | 76 920 231 | 130 260 931 | 73 534 659 | 2 172 623 |
| 1993 | 252 324 | 14 531 | 75 486 305 | 136 253 406 | 75 533 971 | 2 023 756 |
| 1994 | 258 313 | 15 248 | 75 452 721 | 137 307 051 | 77 302 101 | 1 816 856 |
| 1995 | 268 085 | 16 797 | 78 118 971 | 135 300 744 | 80 810 845 | 1 685 623 |
| 1996 | 276 112 | 18 629 | 78 275 282 | 141 333 341 | 81 615 923 | 1 639 056 |
| 1997 | 287 880 | 20 029 | 79 589 741 | 144 918 741 | 83 564 644 | 1 534 056 |
| 1998 | 295 899 | 21 675 | 80 833 902 | 145 718 141 | 84 667 714 | 1 481 746 |
| 1999 | 303 599 | 25 240 | 79 993 517 | 137 345 294 | 84 494 974 | 1 466 796 |
| 2000 | 318 206 | 27 942 | 78 414 617 | 129 872 215 | 84 821 628 | 1 388 732 |
| 2001 | 318 852 | 29 221 | 79 911 617 | 133 350 809 | 87 892 665 | 1 339 106 |
| 2002 | 332 219 | 29 464 | 79 577 617 | 131 519 404 | 85 988 702 | 1 300 056 |
| 2003 | 333 671 | 30 692 | 78 684 617 | 134 593 999 | 81 587 739 | 1 202 056 |
| 2004 | 335 817 | 30 798 | 75 726 617 | 130 575 626 | 76 937 778 | 1 184 556 |
| 2005 | 335 902 | 31 051 | 75 369 044 | 128 786 315 | 73 856 160 | 1 129 416 |
| 2006 | 332 834 | 31 140 | 72 875 470 | 124 003 004 | 75 522 543 | 1 053 556 |
| 2007 | 333 798 | 30 391 | 73 855 896 | 130 961 693 | 76 354 925 | 1 061 556 |
| 2008 | 335 189 | 29 714 | 75 517 322 | 134 718 383 | 74 224 307 | 1 012 556 |
| 2009 | 336 117 | 29 851 | 76 861 748 | 140 326 072 | 71 224 689 | 893 556 |
| 2010 | 338 818 | 30 484 | 78 160 174 | 143 981 761 | 70 695 071 | 878 556 |
| 2011 | 341 362 | 30 687 | 73 209 707 | 150 282 114 | 70 909 892 | 855 591 |
| 2012 | 331 552 | 29 173 | 77 262 240 | 152 651 466 | 68 918 713 | 808 226 |
| 2013 | 326 317 | 28 813 | 84 922 773 | 154 668 819 | 67 338 533 | 778 920 |
| 2014 | 324 422 | 26 957 | 86 002 306 | 154 508 171 | 68 721 354 | 772 613 |
| 2015 | 317 410 | 26 456 | 86 325 839 | 157 907 524 | 69 263 175 | 750 307 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2016 | 302 513 | 25 433 | 86 345 372 | 156 414 876 | 65 525 996 | 675 000 |
| 2017 | 299 788 | 24 625 | 86 844 423 | 155 946 909 | 63 234 912 | 622 000 |
| 2018 | 297 754 | 23 813 | 82 571 473 | 154 689 942 | 64 202 828 | 579 000 |
| 2019 | 293 186 | 23 072 | 81 863 524 | 153 866 974 | 62 706 745 | 521 000 |
| 2020 | 290 857 | 21 259 | 84 432 575 | 154 589 007 | 57 726 661 | 427 000 |
| 2021 | 291 613 | 21 141 | 87 295 575 | 151 257 007 | 54 124 661 | 415 000 |
| 2022 | 296 408 | 20 908 | 87 452 575 | 143 586 007 | 43 226 661 | 391 000 |
| 2023 | 302 216 | 21 300 | 84 593 575 | 136 291 007 | 43 661 661 | 378 000 |

Evolution des cheptels sur la période

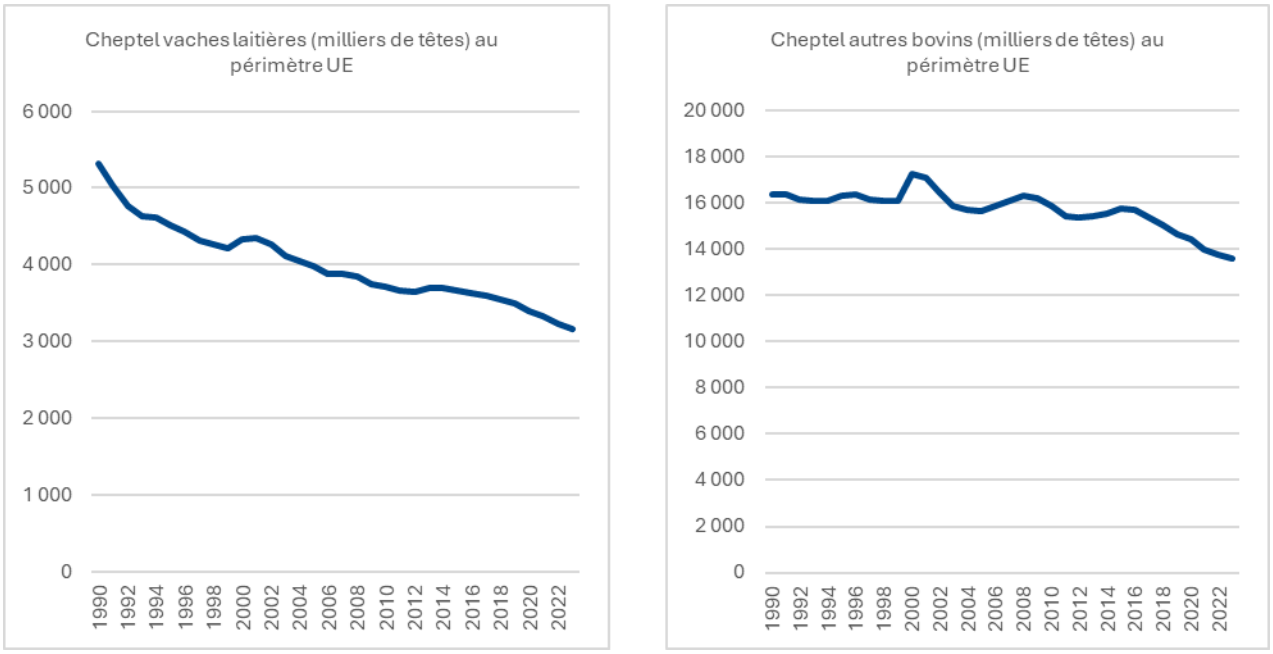



**Figure 138 : Evolution des cheptels bovins au périmètre UE**

Depuis la mise en place des quotas laitiers en 1984, le cheptel des vaches laitières en France est en diminution progressive. Le troupeau est en revanche de plus en plus performant, ce qui permet le maintien de la production de lait sur la période. D'après l'Idele, la suppression des quotas laitiers en 2015 n'a eu qu'un effet conjoncturel de rétention des vaches par les éleveurs sur les deux années qui l'ont précédée. La dynamique de décroissance a repris ensuite en raison d'une incitation à produire limitée par les opérateurs d'aval mais également d'un manque de main d'œuvre dans les exploitations laitières. En effet, on a assisté ces dernières années à une accélération de la baisse du nombre de chefs d'exploitation sans augmentation du nombre de salariés.

Pour les effectifs d'autres bovins, on assiste, depuis l'année 2000, à une légère érosion des effectifs qui s'accentue sur les dernières années. L'Idele indique que l'accélération de la décapitalisation en vaches allaitantes est notamment liée au manque de rentabilité de l'activité au regard du travail et du capital engagés. Les cessations de plus en plus nombreuses du fait du vieillissement de la population ne sont plus compensées par des installations qui elles sont tout juste stables. En outre, de moins en moins de vaches libérées par les uns sont reprises par les autres, la dynamique de croissance des troupeaux touchant ses limites en termes de travail, d'autonomie alimentaire, et de sens du métier. Ainsi, la tendance générale constatée en bovins est une décapitalisation progressive du cheptel qui devrait se poursuivre dans les prochaines années.

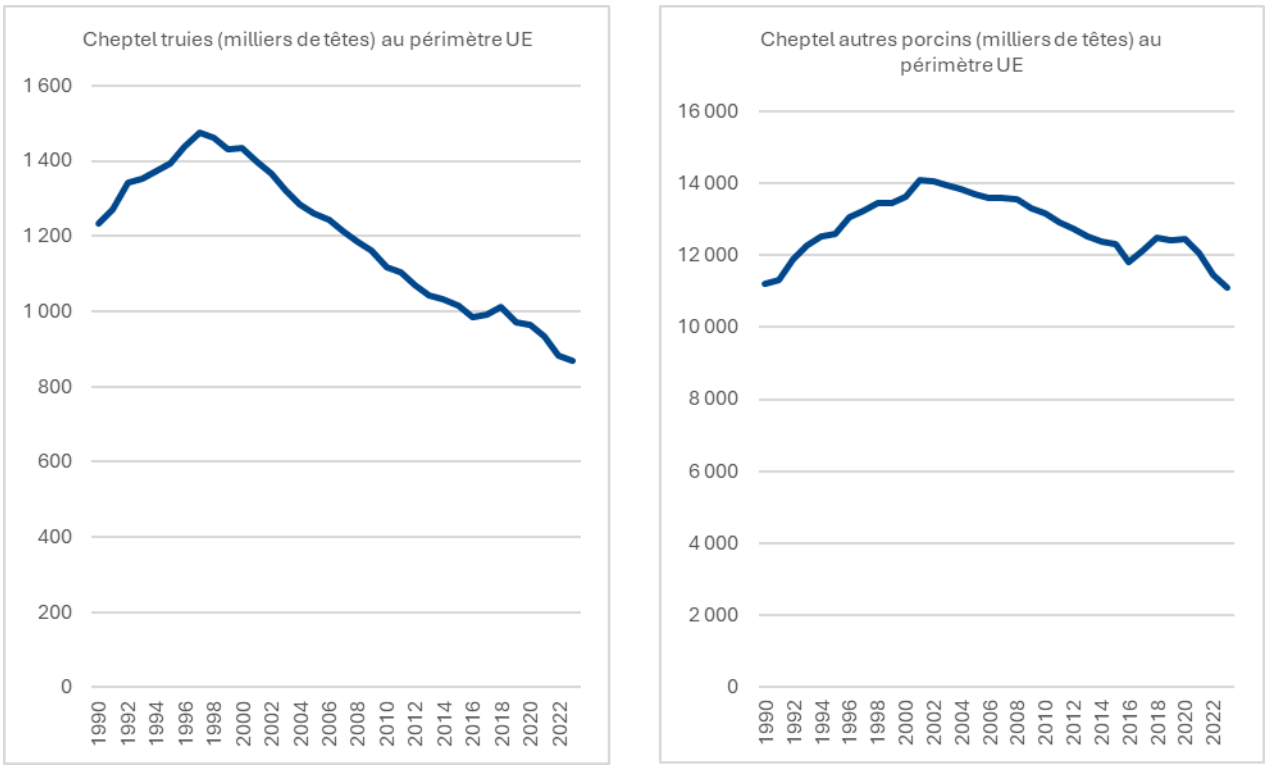
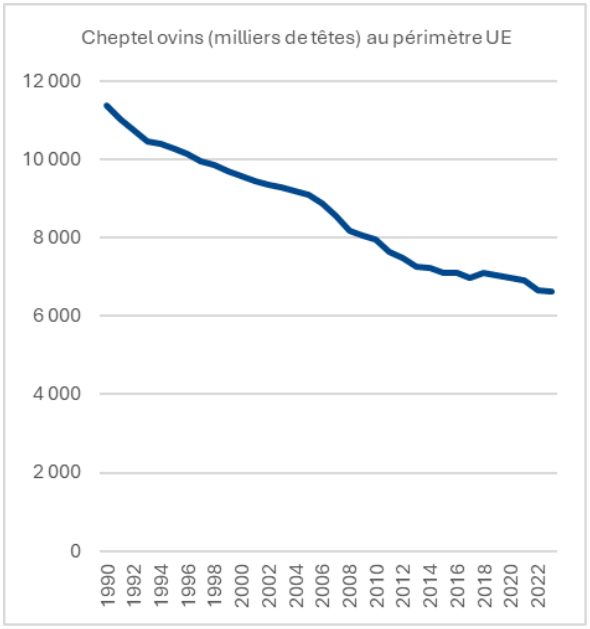



**Figure 139 : Evolution des cheptels porcins au périmètre UE**

Le début de la période est marqué par une production porcine dynamique, avec la création de nombreux élevages modernes et performants. Cette forte croissance s'est vue stoppée à la fin des années 90, en lien d'après l'IFIP, avec le développement des mesures de protection de l'environnement décidées dans le cadre de l'application de la directive Nitrates. La baisse du cheptel des truies amorcée dès 1998, entraîne une baisse du cheptel des autres porcins qui est cependant amoindrie du fait d'une amélioration de la productivité des truies. Puis, cette diminution des cheptels porcins s'est accélérée à partir de 2008, en lien d'après l'IFIP avec une perte de rentabilité des élevages liée à la flambée des prix des matières premières et d'un prix du porc sous pression avec la fermeture du marché russe (fin 2014) et la croissance de la production en Allemagne et en Espagne. La structure des élevages a beaucoup évolué sur la période, avec la disparition progressive des petits élevages de moins de 100 porcs. Un début de relance s'est amorcé depuis 2017, probablement du fait des bonnes conjonctures de 2016 et 2017 qui ont pu ralentir le rythme des arrêts d'activité, et d'un certain retour à l'investissement noté en 2017. En 2019, le contexte est favorable pour les éleveurs français avec un prix mondial du porc qui s'inscrit en forte hausse en lien avec la fièvre porcine africaine qui a décimé près de la moitié du cheptel chinois. En 2020-2021, la pandémie de Covid-19 perturbe les marchés exports et le débouché restauration hors domicile (RHD). En 2022-2023 le cheptel porcin se replie dans un contexte de forte hausse des coûts de production (guerre en Ukraine), d'une réduction de la demande intérieure et d'une contraction des exportations vers la Chine.



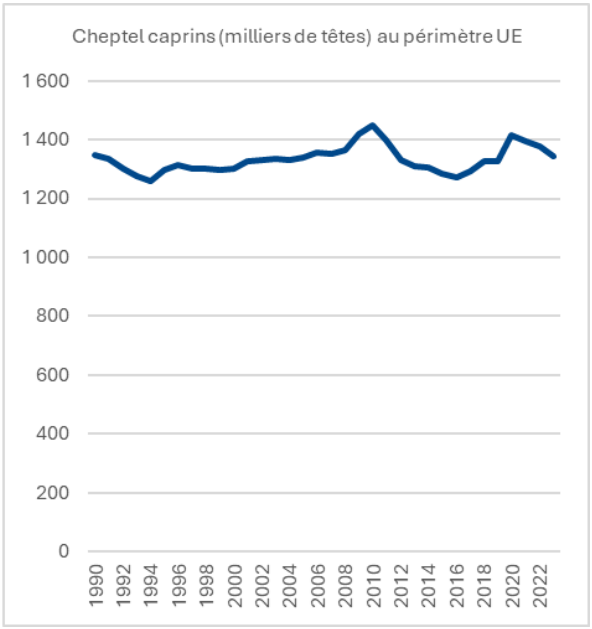
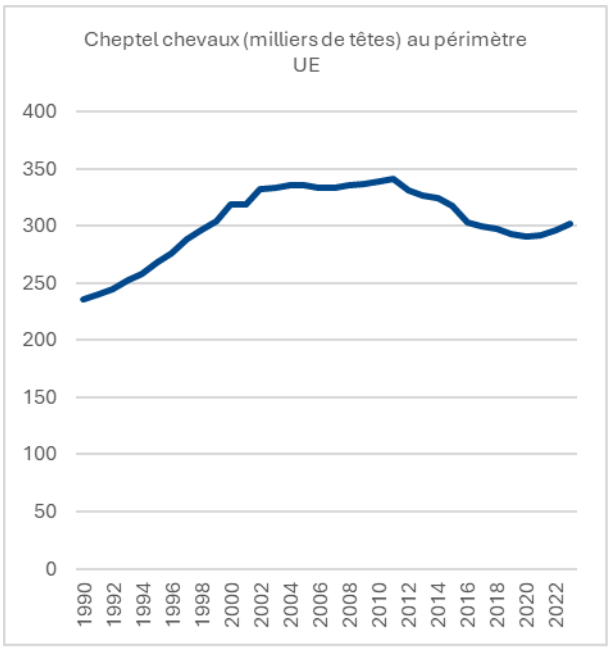




**Figure 140 : Evolution des cheptels ovins et caprins au périmètre UE**

Le cheptel ovin n'a cessé de baisser depuis 1990. Cette baisse peut s'expliquer par les crises sanitaires subies par la filière (fièvre aphteuse en Grande Bretagne en 2001 ; fièvre catarrhale ovine en 2008-2009), mais aussi par des facteurs économiques et climatiques (sécheresse en 2003 et en 2011 affectant les pâturages, hausse des coûts de l'alimentation, cours de l'agneau plus ou moins élevé). Tout cela pousserait certains éleveurs à privilégier d'autres filières agricoles plus rémunératrices.

Concernant le cheptel caprin, il est relativement stable sur la période. Le pic constaté en 2010 s'explique par la mise en place d'un plan de pérennisation de la filière et d'une reprise de la collecte par les entreprises de transformation. Après ce pic, ces entreprises ont souhaité maîtriser la collecte, entrainant alors la réduction du cheptel. S'ajoute à ce moment-là la crise du lait de chèvre : la consommation des ménages se replie du fait de la crise économique, entrainant des disponibilités trop importantes de lait de chèvre faisant alors chuter son prix. Parallèlement, les mauvaises conditions climatiques entre 2010 et 2013 affectent la production de fourrages, poussant les éleveurs à acheter plus d'aliments composés à prix élevés, impactant directement leur revenu. Entre 2016 et 2020, le cheptel repart à la hausse du fait d'une amélioration de la conjoncture puis reprend une dynamique baissière en 2021 dans un contexte de coûts de production élevés (prix de l'aliment, guerre en Ukraine).



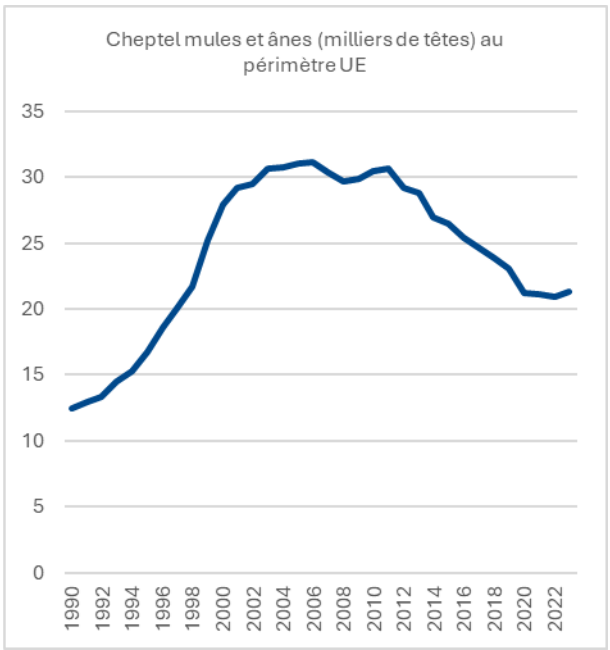




**Figure 141 : Evolution des cheptels équins au périmètre UE**

En plein essor jusque dans les années 2000, le cheptel équin a vu sa croissance ralentir principalement du fait d'un contexte économique difficile. La production de chevaux subit une diminution importante, et entre 2013 et 2020, les activités équestres sont également en baisse avant d'amorcer une reprise sur la période récente.

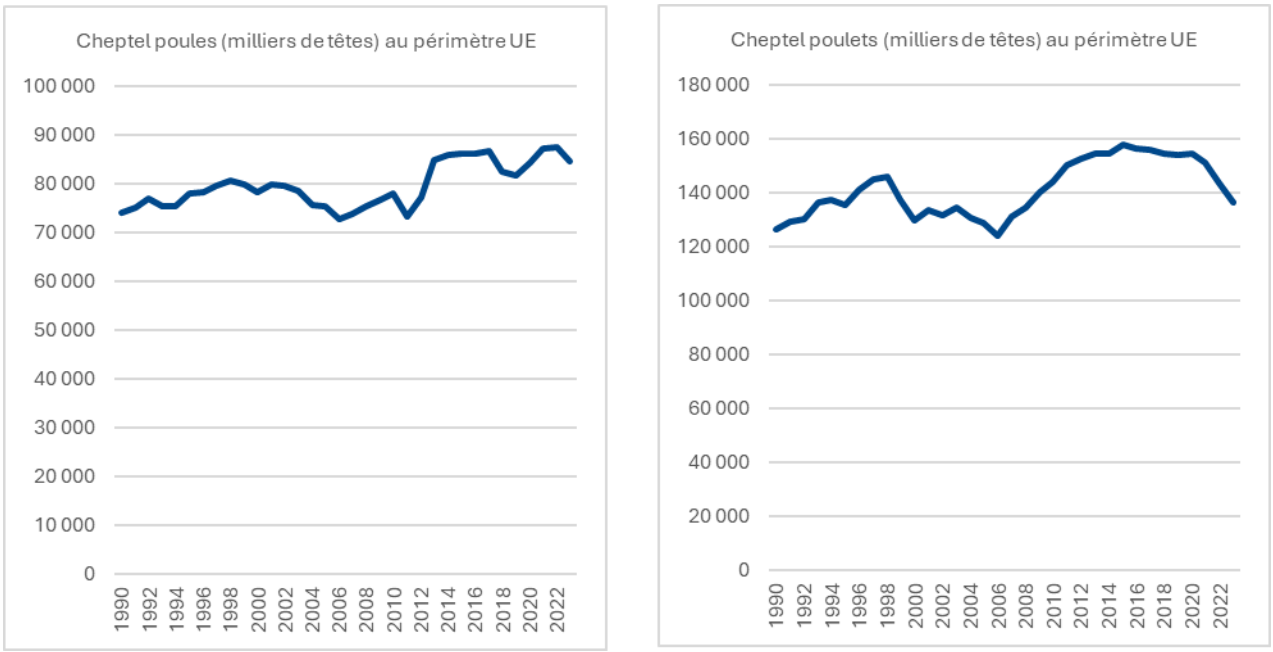



**Figure 142 : Evolution des cheptels poules et poulets au périmètre UE**

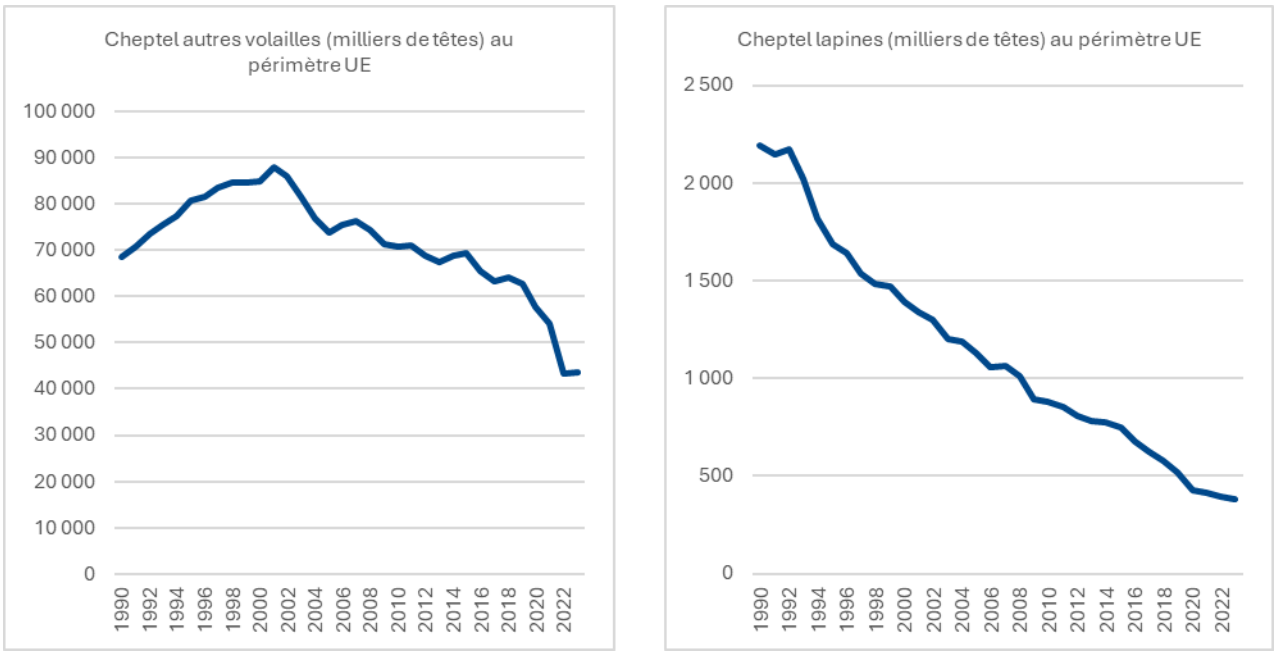



**Figure 143 : Evolution des cheptels autres volailles et lapines au périmètre UE**

Entre 1990 et 2012, le cheptel des poules pondeuses est relativement stable et majoritairement élevé en cages. L'application, en 2012, de la directive 1999/74/CE visant à une mise aux normes des élevages de poules pondeuses en cage s'est déroulée rapidement en France et a été l'occasion pour de nombreux éleveurs d'agrandir leurs élevages. Ceci explique le recul du cheptel en 2012 et la hausse en 2013. Depuis 2013, la filière ponte voit évoluer ses modes d'élevage avec un repli des effectifs en cage au profit des autres segments (sol, plein-air, label rouge et bio). Depuis 2016, on observe une accélération de cette transition des modes d'élevage de pondeuses qui s'accompagne d'une hausse de production. En 2022, le secteur ponte est lourdement affecté par une crise influenza aviaire dans un contexte déjà marqué par la hausse des coûts de production. En 2023, la production d'œufs a repris bien que des cas d'influenza aviaire aient été recensés en début d'année.

Les effectifs de poulets de chair sont en hausse, depuis les années 60 en lien avec un développement du marché intérieur et de l'export vers les marchés européens. À la fin des années 90, la France est concurrencée sur son débouché export du fait d'un déficit de compétitivité vis-à-vis d'acteurs émergents tels que le Brésil ou la Thaïlande qui approvisionnent de plus en plus les marchés européens en produits à droits de douane réduits (viandes saumurées, préparations cuites). Le cheptel s'inscrit ainsi en repli entre 1998 et 2006. À partir de 2006, les exportations d'entiers congelés progressent vers les pays du Proche et Moyen Orient (Arabie Saoudite notamment) et

contribuent à faire progresser le cheptel malgré une hausse conjointe des importations. La fin des restitutions aux exportations (qui consistent à compenser la différence entre les prix communautaires et les prix mondiaux en subventionnant l'exportation de certains produits agricoles) décidée en 2013, engendre un net recul de cette filière dite du « grand export ». La stabilité du cheptel entre 2013 et 2020 masque des mutations entre repli du poulet léger (pour l'export), stratégie de reconquête du marché national en déficit de compétitivité sur la découpe et montée en gamme des produits (bien-être animal). En 2020, la production de poulet résiste à la pandémie de Covid-19 qui affecte surtout le marché RHD (Restauration Hors Domicile) fortement importateur de poulet origine UE. Le cheptel se stabilise en 2021 malgré la reprise de consommation post-covid, la filière française étant concurrencée par des importations UE. En 2022, le cheptel s'inscrit à la baisse dans un contexte marqué par l'influenza aviaire et le maintien d'une pression concurrentielle à l'import. En 2023, le cheptel se stabilise.

La dinde constitue le principal moteur des évolutions pour la catégorie autres volailles. Le repli observé depuis les années 2000 s'explique d'abord par le net recul des exportations sur la période 2000-2006 vers l'Allemagne, puis vers l'Espagne depuis 2006, les deux pays ayant développé leur production intérieure. Entre 2021 et 2023, la production de dinde continue de se replier.

Le cheptel de palmipèdes fait quant-à-lui face à des épizooties successives d'influenza aviaire depuis 2015 orchestrant un recul du cheptel qui se poursuit jusqu'en 2022. En 2020, les filières canard à rôtir, canard gras, pintades et petites volailles (pigeons, cailles…) ont été durement affectées par la pandémie de Covid-19 et la fermeture des débouchés en RHD et à l'export. En 2023, le cheptel de palmipède se redresse par rapport aux précédentes années.

La filière cunicole française est en repli depuis de nombreuses années en lien avec un repli de la consommation par habitant. À cette tendance de déconsommation progressive s'ajoutent des épisodes fréquents de crises sanitaires depuis 2016, avec la résurgence de la maladie hémorragique viral du lapin (VHD) qui fragilisent la filière.

## Systèmes de gestion des déjections animales

### Les enquêtes

L'étude des Systèmes de Gestion des Déjections Animales (SGDA) permet d'obtenir des données essentielles pour la réalisation des inventaires notamment :

- les temps passés en bâtiment et à l'extérieur (pâturages, parcours),
- la répartition des effluents entre systèmes (fumier, lisier, litière accumulée).

Ces informations sont en grande partie issues des enquêtes bâtiments d'élevage [480] et des enquêtes pratiques d'élevage [980] réalisées périodiquement par le service de la statistique et de la prospective (SSP) du ministère de l'Agriculture.

Ces enquêtes sont réalisées par visite d'un enquêteur dans les élevages et portent notamment sur le mode de construction des bâtiments, le mode de logement, les caractéristiques des ouvrages de stockage des déjections, etc. Les résultats de ces enquêtes fournissent ainsi la représentativité des différents modes de stabulation et types de sol pour les différentes catégories animales.

Les enquêtes bâtiment couvrent les années 1994, 2001 et 2008. Elles concernent les bovins, les porcins, les caprins, les ovins et les volailles et sont disponibles à l'échelle des anciennes régions. L'enquête pratiques d'élevage couvre l'année 2015 et s'inscrit dans la continuité de ces enquêtes bâtiment. Elle a été renommée car les aspects couverts sont plus larges (alimentation des animaux, pratiques sanitaires, soins aux animaux, main d'œuvre). Elle concerne les bovins, les porcins, les caprins, les ovins et les volailles et est disponible à l'échelle des nouvelles régions.

**A noter :** en complément de ces enquêtes, certaines données issues du Recensement agricole 2020 [1249] ont également été mobilisées. En particulier, ont été intégrées les données concernant les effectifs en plein-air intégral pour les vaches laitières et allaitantes.

### Traitement des données sur les systèmes de gestion

La méthodologie de traitement des données disponibles sur les systèmes de gestion des déjections animales est détaillée en annexe « A.1 Systèmes de gestion des déjections animales (SGDA) ».

### Les résultats obtenus

Pour les bovins, 5 systèmes de gestion des déjections sont distingués :

- Lisier sans croûte naturelle ;
- Lisier avec croûte naturelle ;
- Fumier (stockage solide) ;
- Litière accumulée : pendant moins d'un mois pour les vaches laitières et pendant plus d'un mois pour les autres bovins ;

- Pâture.

Ne disposant pas de données spécifiques aux DOM COM, les données de la métropole sont utilisées.

**Tableau 157 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins (périmètre UE)**

| | | Lisier sans croûte naturelle | Lisier avec croûte naturelle | Fumier (Stockage solide) | Litière accumulée | Pâture |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vaches laitières | 1990 | 5,4% | 9,4% | 43,5% | 2,4% | 39,4% |
| | 2000 | 7,7% | 7,9% | 42,0% | 2,7% | 39,7% |
| | 2005 | 9,1% | 8,7% | 40,0% | 3,0% | 39,2% |
| | 2010 | 9,7% | 9,2% | 38,9% | 3,1% | 39,1% |
| | 2015 | 9,3% | 8,6% | 39,5% | 3,0% | 39,6% |
| | 2023 | 9,3% | 8,6% | 39,4% | 3,0% | 39,8% |
| Autres bovins | 1990 | 6,6% | 1,4% | 43,8% | 7,6% | 40,6% |
| | 2000 | 6,3% | 1,0% | 41,3% | 9,4% | 42,0% |
| | 2005 | 5,6% | 0,9% | 40,5% | 11,0% | 42,1% |
| | 2010 | 4,0% | 0,9% | 41,2% | 11,9% | 41,9% |
| | 2015 | 2,8% | 1,1% | 42,4% | 11,4% | 42,2% |
| | 2023 | 2,8% | 1,1% | 42,6% | 11,4% | 42,0% |

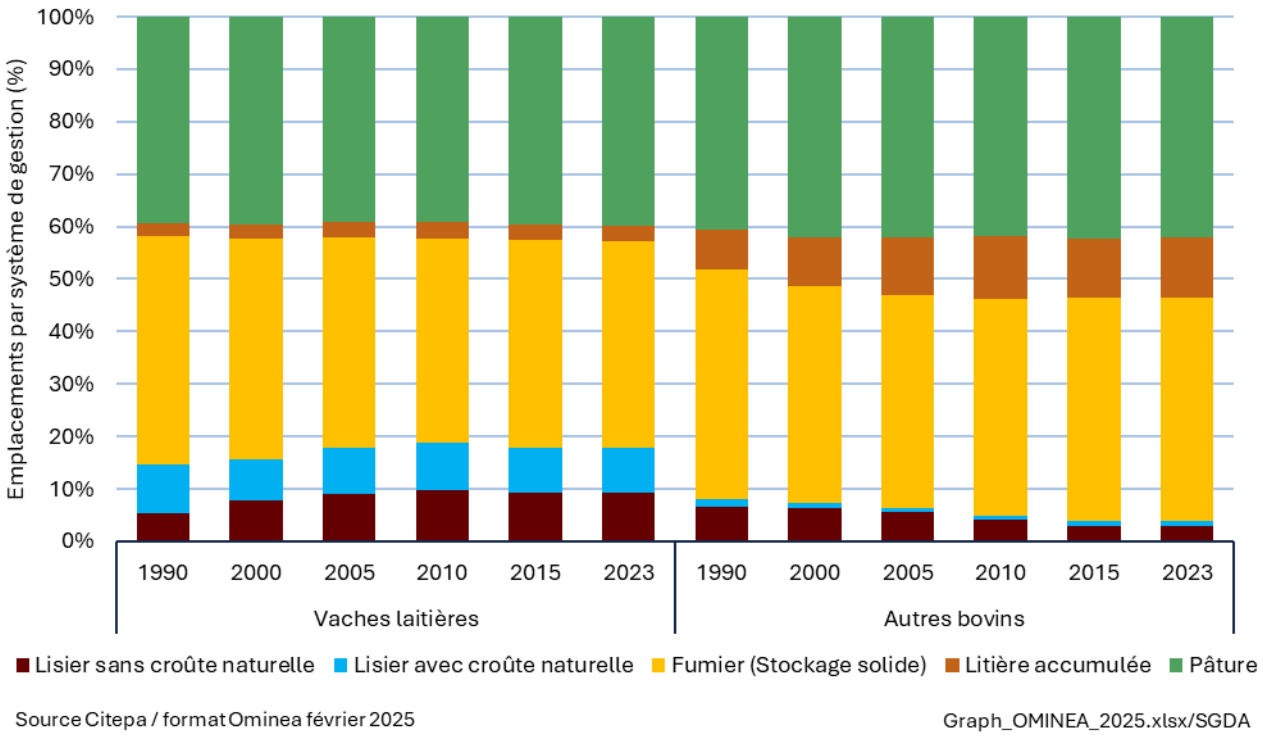



**Figure 144 : Répartition entre types d'effluents pour les bovins (périmètre UE)**

Pour les autres animaux, 3 systèmes de gestion des déjections sont distingués :

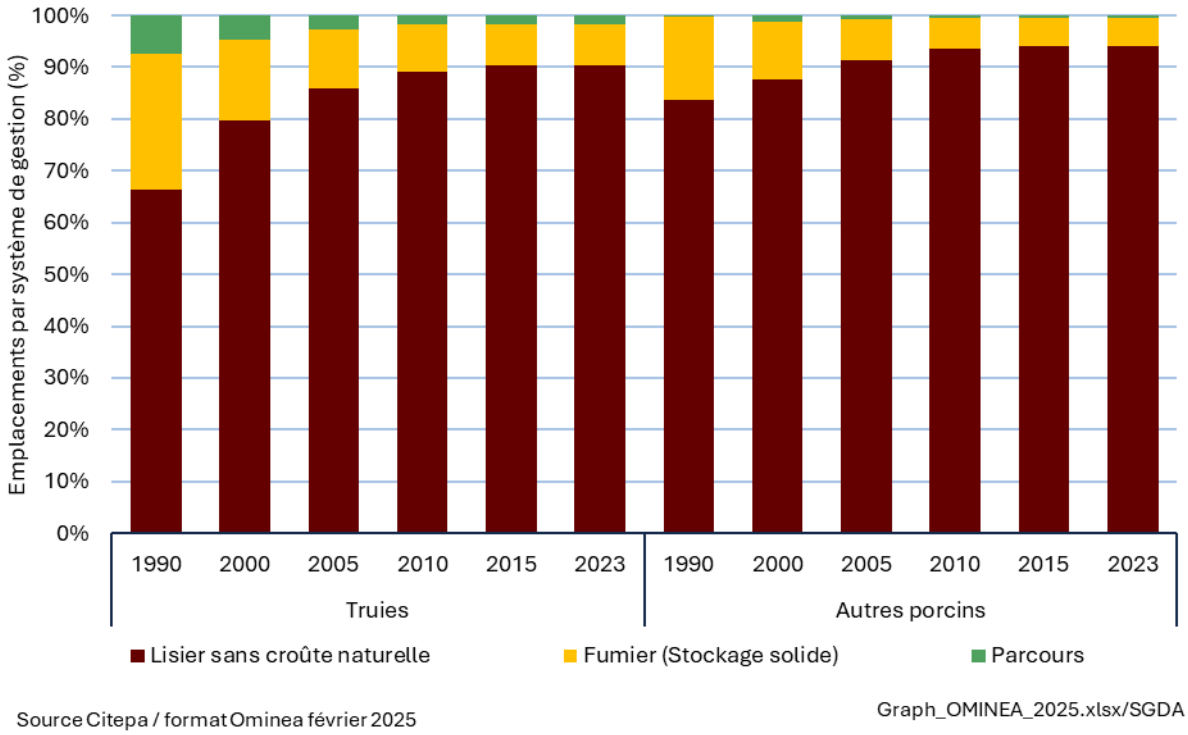
- Lisier sans croûte naturelle ;
- Fumier (stockage solide) ;
- Pâture/parcours.

Ne disposant pas de données spécifiques aux DOM COM, les données de la métropole sont utilisées, à l'exception des cervidés d'élevage (uniquement en Nouvelle-Calédonie, considérés 100% à la pâture).

**Tableau 158 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE)**

| | | Lisier sans croûte naturelle | Fumier (Stockage solide) | Parcours |
|---|---|---|---|---|
| Truies | 1990 | 66,4% | 26,1% | 7,5% |
| | 2000 | 79,7% | 15,6% | 4,7% |
| | 2005 | 85,8% | 11,5% | 2,7% |
| | 2010 | 89,1% | 9,3% | 1,6% |
| | 2015 | 90,3% | 8,1% | 1,6% |
| | 2023 | 90,4% | 8,0% | 1,6% |
| Autres porcins | 1990 | 83,7% | 16,0% | 0,3% |
| | 2000 | 87,7% | 11,2% | 1,1% |
| | 2005 | 91,2% | 7,9% | 0,8% |
| | 2010 | 93,5% | 6,0% | 0,5% |
| | 2015 | 94,1% | 5,4% | 0,5% |
| | 2023 | 94,1% | 5,3% | 0,5% |

**Figure 145 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE)**




Source Citepa / format Ominea février 2025

Graph_OMINEA_2025.xlsx/SGDA

**Tableau 159 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE)**

| | | Lisier sans croûte naturelle | Fumier (Stockage solide) | Pâture |
|---|---|---|---|---|
| Ovins | 1990 | 0,0% | 25,9% | 74,1% |
| | 2023 | 0,3% | 25,5% | 74,2% |
| Caprins | 1990 | 0,0% | 89,0% | 11,0% |
| | 2023 | 3,3% | 85,8% | 10,8% |
| Equins | 1990 | 0,0% | 41,7% | 58,3% |
| | 2023 | 0,0% | 41,7% | 58,3% |

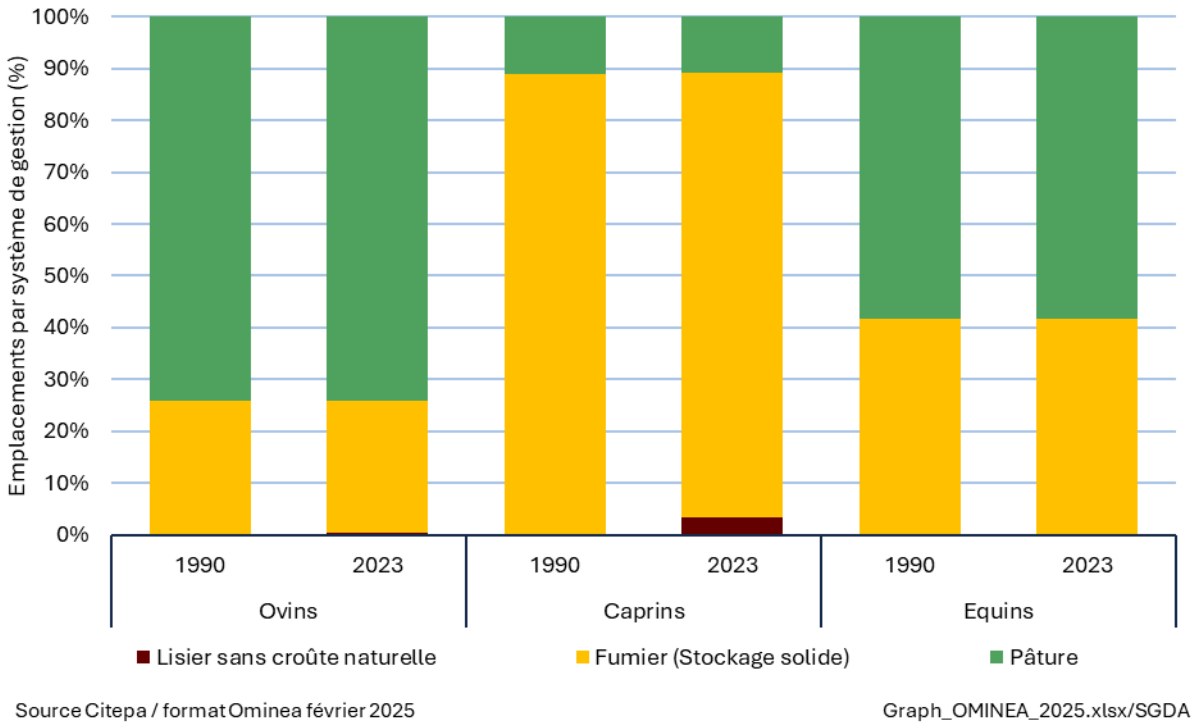



**Figure 146 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE)**

**Tableau 160 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE)**

| | | Lisier sans croûte naturelle | Fumier (Stockage solide) | Parcours |
|---|---|---|---|---|
| Volailles | 1990 | 4,5% | 92,0% | 3,5% |
| | 2000 | 6,0% | 89,7% | 4,3% |
| | 2005 | 6,9% | 87,4% | 5,7% |
| | 2010 | 5,2% | 88,1% | 6,7% |
| | 2015 | 5,2% | 87,8% | 7,0% |
| | 2023 | 4,3% | 88,8% | 6,9% |
| Lapines | 90-23 | 98,0% | 2,0% | 0,0% |

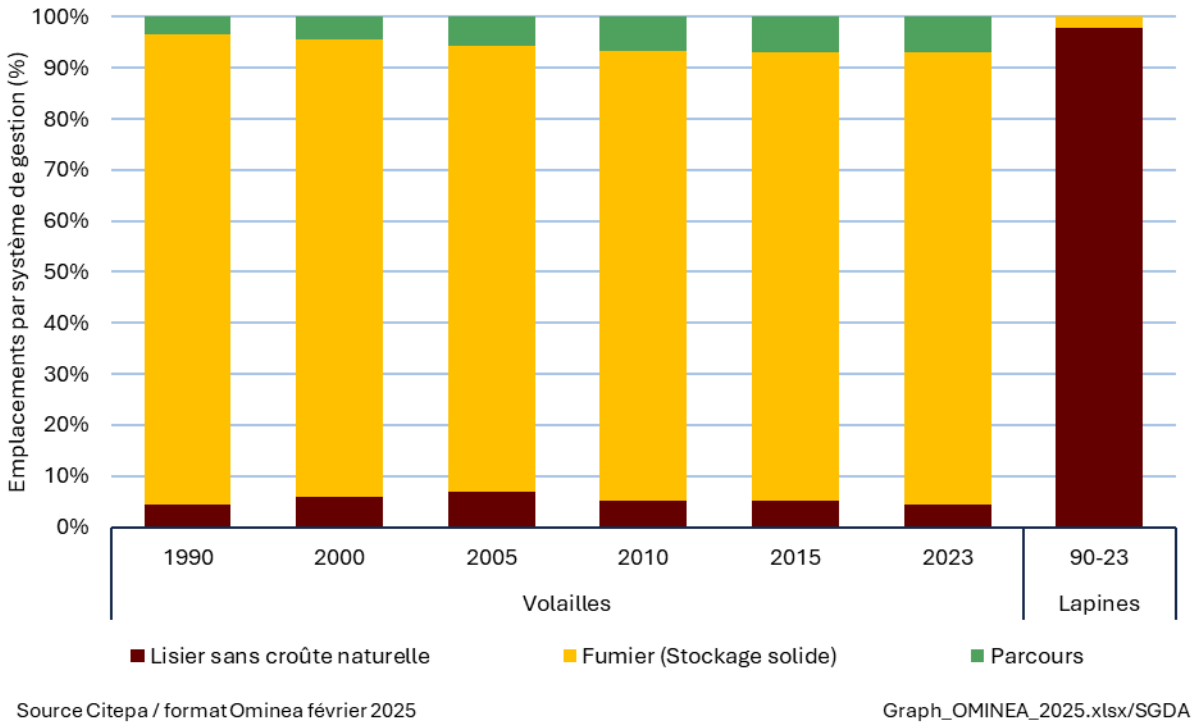



**Figure 147 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE)**

## Méthanisation agricole

La méthanisation agricole se développe en France de façon importante depuis les quinze dernières années (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La base de données SINOE de l'Ademe [798] (https://www.sinoe.org/), qui permet de suivre le nombre de méthaniseurs en activité par mode de gestion, dénombre 1 428 méthaniseurs agricoles (à la ferme + centralisés) en 2023. Les activités de méthanisation affectent les émissions au niveau de la gestion des déjections et au niveau de l'épandage des digestats. Afin d'intégrer ces effets dans l'inventaire, l'objectif est d'établir un suivi des intrants valorisés en méthanisation à l'échelle régionale pour en déduire des quantités d'effluents méthanisées et des quantités de digestats épandus.

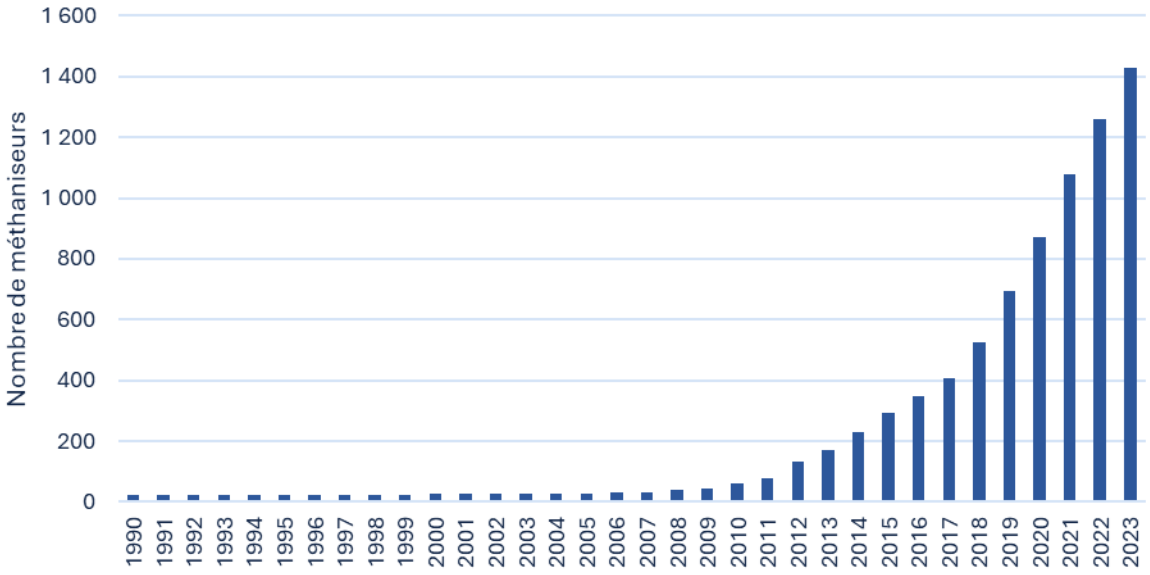



**Figure 148 : Evolution du nombre de sites de méthanisation agricole en France**

## Mode de calcul des quantités et du type d'intrants méthanisés

La quantité totale d'effluents d'élevage méthanisés est estimée sur la base du nombre de méthaniseurs agricoles en activité par mode de gestion en mobilisant la base de données SINOE [798] d'une estimation du tonnage d'intrant moyen par méthaniseur.

Les tonnages d'intrants moyens par méthaniseur sont calculés à l'échelle régionale sur la base de données régionales (Observatoires de la méthanisation, DREAL, chambres d'agriculture, ADEME…) ou à partir d'une base de données partielle, constituée au Citepa, méthaniseur par méthaniseur pour la quantité d'effluents d'élevage (données constructeur, déclarations ICPE, communication professionnelle…) pour la période 1990-2020 (525 méthaniseurs). Lorsque qu'elles existent les sources qui fournissent des quantités d'intrants spécifiques à partir d'enquêtes régionales sur les installations de méthanisation sont privilégiées, toutefois ces données étant parfois partielles ou incomplètes par rapport aux besoins de l'inventaire, des traitements complémentaires ont été apportés.

Les différentes sources mobilisées pour le calcul de la ration sont listées au niveau du tableau suivant :

**Tableau 161 : Sources de données régionales mobilisées pour l'estimation des quantités d'intrants méthanisés**

| Région | Source | Année | Référence |
|---|---|---|---|
| Auvergne-Rhône-Alpes | DREAL AURA | 2020 - 2022 | [1236] |
| Bourgogne-Franche-Comté | ADEME | 2019 | [1158] |
| Bretagne | Association AILE | 2021 - 2023 | [1237] |
| Centre-Val de Loire | Citepa | 2020 | |
| Grand Est | Ademe | 2020 - 2022 | [1336] |
| Hauts de France | Citepa | 2020 | |
| Ile-de-France | AREC IDF | 2022 | [1239] |
| Normandie | Chambre d'agriculture Normandie, Biomasse Normandie | 2020, 2023 | [1240], [1335] |
| Occitanie | Citepa | 2020 | |
| PACA | Citepa | 2020 | |
| Pays de la Loire | Association AILE, DREAL PDL | 2019 - 2023 | [1159], [1241] |
| Nouvelle-Aquitaine | AREC NA | 2017-2021 | [1168] |

Une ration d'un méthaniseur moyen est donc établie à l'échelle régionale avant d'obtenir une ration nationale (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** & **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Lorsque l'information est disponible au niveau de l'ancienne région, celle-ci est renseignée, sinon la même ration est appliquée à l'ensemble des sous régions. Pour une année i, une région r et un type d'intrant k on obtient l'équation suivante :

$$\text{Intrants } méthanisés_{i,r,k} = Nombre\ de\ méthaniseurs_{i,r} * Tonnages\ intrants\ moyens_{i,r,k}$$

En 2023 on dénombre ainsi 1428 méthaniseurs agricoles valorisant 20,2 millions de tonnes de matière brute à 49 % constituée d'effluents d'élevage. Les fourchettes d'intrants obtenus sont très larges et reflètent la diversité des modèles de méthanisation (taille, typologie, équipements…). En revanche, elles sont déterminées pour une année donnée lorsque les données sont disponibles mais ne reflètent pas les potentiels évolutions des plans d'approvisionnements, les aléas techniques… Des recherches complémentaires pourraient être poursuivies pour acquérir des références sur plusieurs années et pour les divers modèles de méthanisation.

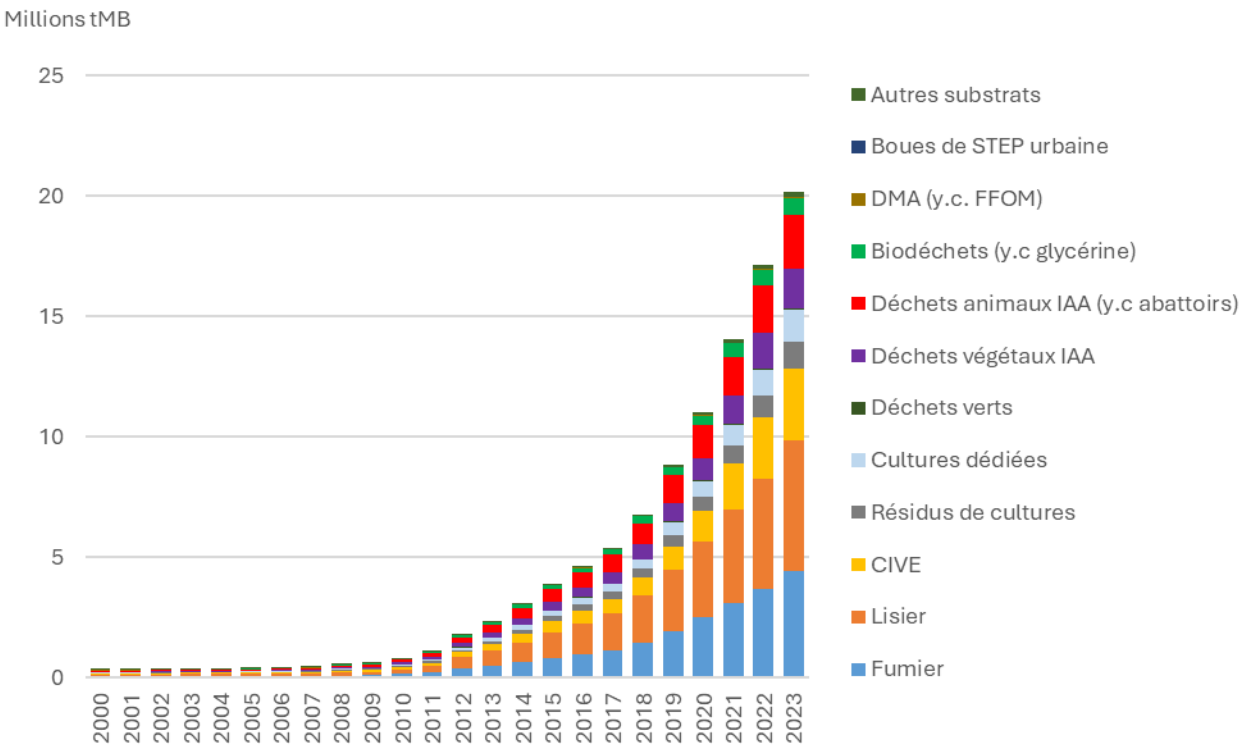



**Figure 149 : Estimation des quantités d'intrants alimentant les méthaniseurs agricoles en France. Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME…**

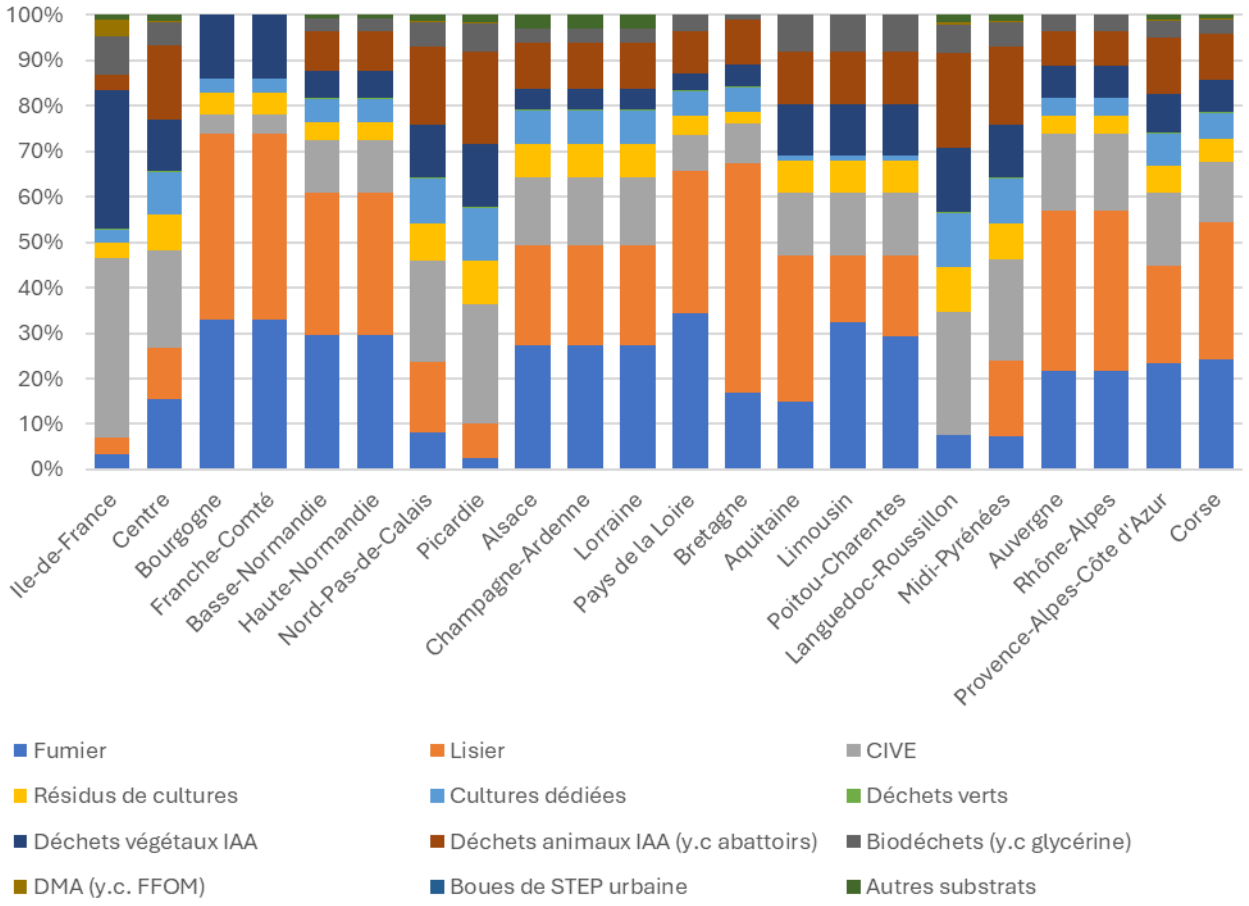



**Figure 150 : Estimation des rations moyennes des méthaniseurs agricoles par ancienne région (avant réforme 2016) pour l'année la plus récente – Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME…**

## Intégration de la méthanisation comme système de gestion des déjections

Les quantités estimées d'effluents méthanisés sont intégrées en tant que mode de gestion des déjections animales dans le module de calcul PACRETE. La méthode consiste à estimer un cheptel (théorique) dont les déjections seraient entièrement dirigées vers la méthanisation. Il est donc nécessaire de convertir les données de tonnages d'effluents méthanisés en nombre d'animaux.

A cet effet, le gisement d'effluents théoriquement disponible pour la méthanisation est estimé sur la base de l'azote excrété au bâtiment, déterminé au sein du module PACRETE, puis converti en tonnages de matière brute (tMB) sur la base de références bibliographiques sur les teneurs en azote des effluents (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Aussi pour une région r, une catégorie d'élevage s, et un type d 'effluent e :

$$\text{gisement effluents}_{r,s,e} = \frac{azote\ excrété\ par\ tête_{r,s,e}}{teneur\ en\ azote\ effluents_{s,e}}$$

L'excrétion moyenne d'effluents en tMB par tête d'animal et par type d'effluent est déduite du calcul du gisement et du cheptel.

$$\text{quantité } effluents\ par\ tête_{r,s,e} = \frac{gisement\ effluents_{r,s,e}}{cheptel_{r,s}}$$

La répartition régionale des intrants méthanisés par type d'effluent (fumier/lisier) est dérivée des données d'intrants méthanisés calculées précédemment et de la répartition régionale par espèce du gisement d'effluents.

$$\text{intrants } méthanisés_{r,s,e} = intrants\ méthanisés_{r,e} \times \frac{gisement\ effluents_{r,s,e}}{\sum_s gisement\ effluents_{r,s,e}}$$

On déduit ainsi le cheptel (théorique) dont les déjections sont entièrement méthanisées des intrants méthanisés régionaux et des quantités moyennes d'effluents par animal.

$$\text{cheptel méthanisé}_{r,s} = \frac{intrants\ méthanisés_{r,s,e}}{quantité\ effluents\ par\ tête_{r,s,e}}$$

**Tableau 162. Teneur en azote retenue pour les effluents d'élevage de l'inventaire**

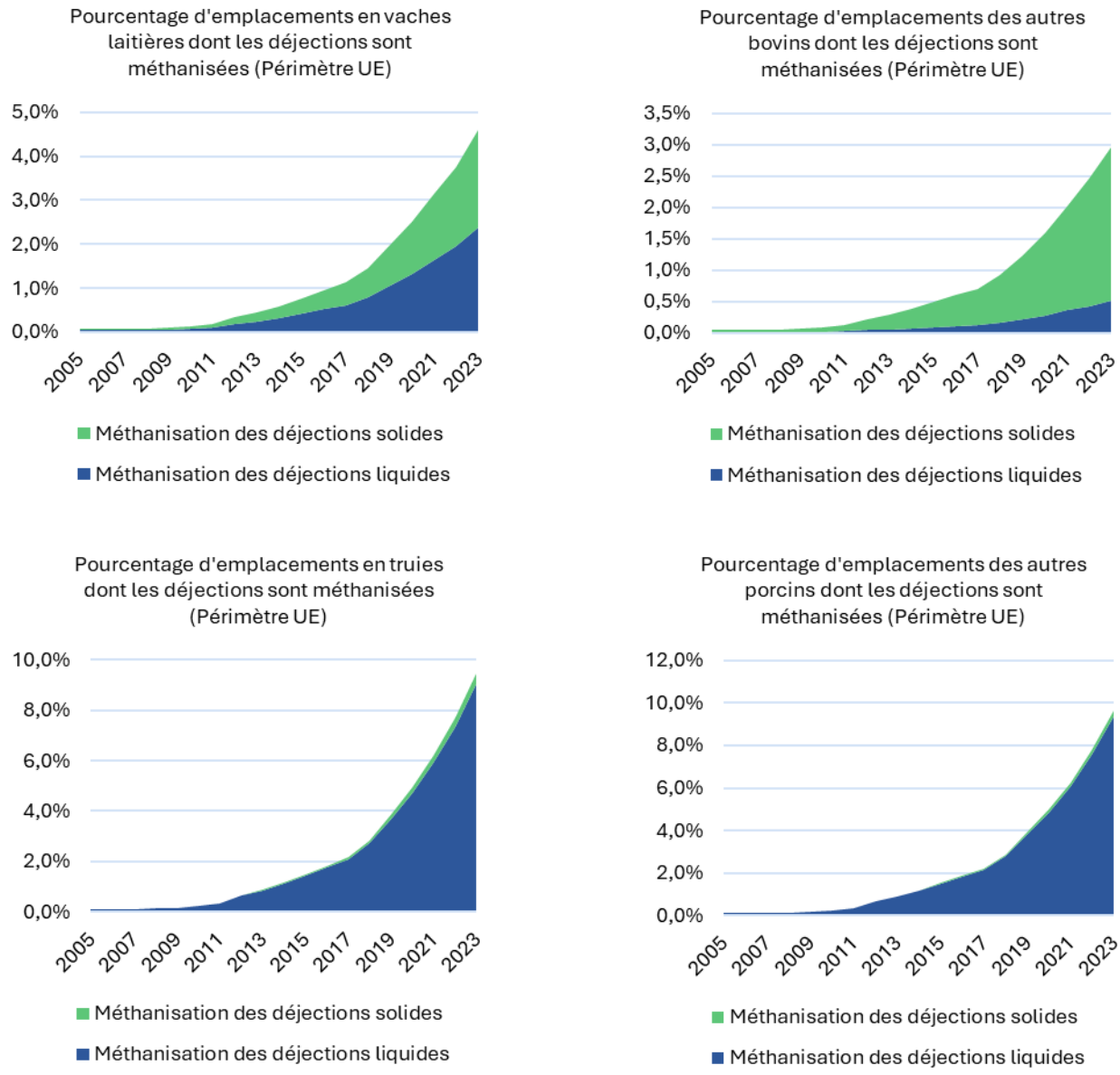
| Catégories inventaire (SAA) | Type d'effluent | Référence utilisée | Nom dans la référence | gN/kgMB |
|---|---|---|---|---|
| Bovins | lisier | [1230] | Lisier de bovins | 3,4 |
| | fumier litière accumulée | [1230] | Fumier de bovins sur litière accumulée | 5,9 |
| | fumier raclé | [1230] | moyenne fumier de bovin mou / compact | 4,6 |
| Ovins | fumier | [1230] | Fumier d'ovins | 6,7 |
| | lisier | [1230] | Lisier de bovins | 3,4 |
| Caprins | fumier | [1230] | Fumier de caprins | 6,1 |
| | lisier | [1230] | Lisier de bovins | 3,4 |
| Truies de 50 kg et plus | lisier | [1230] | Lisier de truies gestantes | 2,2 |
| | fumier | [1230] | Fumier de porcs charcutiers | 9,4 |
| Verrats de 50 kg et plus | lisier | [1230] | Lisier de porcs charcutiers | 5,8 |
| | fumier | [1230] | Fumier de porcs charcutiers | 9,4 |
| Porcelets non sevrés (<8kg) | lisier | [1230] | Lisier de porcs naisseur engraisseur | 3,5 |
| | fumier | [1230] | Fumier de porcs charcutiers | 9,4 |
| Porcelets sevrés de 8 à 30 kg | lisier | [1230] | Lisier de porcs naisseur engraisseur | 3,5 |
| | fumier | [1230] | Fumier de porcs charcutiers | 9,4 |
| Porcs à l'engrais de 30 kg et plus | lisier | [1230] | Lisier de porcs charcutiers | 5,8 |
| | fumier | [1230] | Fumier de porcs charcutiers | 9,4 |
| Poules pondeuses d'œufs à couver | fumier | [1230] | moyenne Fientes de pondeuses en cage / bio | 30,8 |
| | lisier | [1230] | Lisier de canard à rôtir | 6,1 |
| Poules pondeuses d'œufs de consommation | fumier | [1230] | moyenne Fientes de pondeuses en cage / bio | 30,8 |
| | lisier | [1230] | Lisier de canard à rôtir | 6,1 |
| Poulettes | fumier | [1230] | moyenne Fientes de pondeuses en cage / bio | 30,8 |
| | lisier | [1230] | Lisier de canard à rôtir | 6,1 |
| Poulets de chair | fumier | [1230] | Fumier poulet de chair conventionnel | 21,9 |
| | lisier | [1230] | Lisier de canard à rôtir | 6,1 |
| Canards à gaver | fumier | [1230] | Fumier poulet de chair conventionnel | 21,9 |
| | lisier | [1230] | Lisier de canard à gaver | 4,6 |
| Canards à rôtir | fumier | [1230] | Fumier poulet de chair conventionnel | 21,9 |
| | lisier | [1230] | Lisier de canard à rôtir | 6,1 |
| Dindes et dindons | fumier | [1230] | Fumier dinde | 25,5 |
| | lisier | [1230] | Lisier de canard à rôtir | 6,1 |
| Oies | fumier | [1230] | Fumier poulet de chair conventionnel | 21,9 |
| | lisier | [1230] | Lisier de canard à gaver | 4,6 |
| Pintades | fumier | [1230] | Fumier de pintade label | 27 |
| | lisier | [1230] | Lisier de canard à rôtir | 6,1 |
| Cailles d'élevage | fumier | [1230] | Fumier de cailles | 38,8 |
| | lisier | [1230] | Lisier de canard à rôtir | 6,1 |
| Lapines reproductrices | fumier | [1230] | Crottes de lapin | 8,1 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | lisier | [1230] | Lisier de lapin | 3,3 |
| Equins | lisier | [1231] | Fumier courant | 8,2 |
| | fumier | [1231] | Fumier courant | 8,2 |

A l'heure actuelle, ces estimations sont réalisées pour les bovins et les porcins uniquement.

Pour les bovins et les porcins, chaque système au bâtiment décrit précédemment est sous-divisé de manière à distinguer les effluents suivant la chaîne « classique » (bâtiment, stockage, épandage), des effluents partant en méthanisation (bâtiment, méthanisation, épandage). Par exemple, on distingue le lisier sans croûte naturelle « classique » du lisier sans croûte naturelle « à vocation méthanisation ».

**Figure 151 : Evolution des places méthanisées en bovins et porcins**




Pour les bovins, on répartit ensuite les places en lisier méthanisé entre les systèmes lisier avec croûte (noté ci-après LAC) et sans croûte (noté ci-après LSC), au prorata des places pour chacun des systèmes l'année en question, par ancienne région.

Exemple pour une région et une année donnée :

$$\text{places LAC } m\acute{e}thanisées = places\ lisier\ méthanisées \times \frac{places\ LAC}{places\ LAC + places\ LSC}$$

Ces places méthanisées LAC sont retirées du système « classique » LAC, et attribuées au nouveau système LAC « à vocation méthanisation ». On obtient alors 4 types d'effluents liquides pour les bovins : lisier sans croûte, lisier sans croûte à vocation

méthanisation, lisier avec croûte, lisier avec croûte à vocation méthanisation. Pour faciliter la lecture des résultats, les deux systèmes à vocation méthanisation sont regroupés en « méthanisation liquide » plus bas.

On répartit également les places fumier entre les systèmes stockage solide et litière accumulée, au prorata des places pour chacun des systèmes l'année en question, par ancienne région. Comme pour les systèmes liquides, on se retrouve alors avec 4 types d'effluents solides pour les bovins : stockage solide, stockage solide à vocation méthanisation, litière accumulée, litière accumulée à vocation méthanisation. Pour faciliter la lecture des résultats, les deux systèmes à vocation méthanisation sont regroupés en « méthanisation solide » plus bas.

Pour les porcins, le même traitement est effectué par ancienne région. Les places lisier méthanisées sont retirées du système lisier sans croûte pour être attribuées au système lisier sans croûte à vocation méthanisation. Les places fumiers sont retirées du système stockage solide pour être attribuées au système stockage solide à vocation méthanisation.

On obtient alors les répartitions suivantes :

**Tableau 163 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE)**

| | | Lisier sans croûte naturelle | Lisier avec croûte naturelle | Fumier (Stockage solide) | Litière accumulée | Pâture | Méthanisation liquide | Méthanisation solide |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vaches laitières | 1990 | 5,4% | 9,4% | 43,4% | 2,4% | 39,4% | 0,0% | 0,0% |
| | 2000 | 7,7% | 7,9% | 42,0% | 2,7% | 39,7% | 0,0% | 0,0% |
| | 2010 | 9,7% | 9,1% | 38,9% | 3,1% | 39,1% | 0,1% | 0,1% |
| | 2023 | 8,0% | 7,5% | 37,3% | 2,8% | 39,8% | 2,4% | 2,2% |
| Autres bovins | 1990 | 6,6% | 1,4% | 43,8% | 7,6% | 40,6% | 0,0% | 0,0% |
| | 2000 | 6,3% | 1,0% | 41,3% | 9,4% | 42,0% | 0,0% | 0,0% |
| | 2010 | 4,0% | 0,9% | 41,2% | 11,9% | 41,9% | 0,0% | 0,1% |
| | 2023 | 2,4% | 1,0% | 40,7% | 10,9% | 42,0% | 0,5% | 2,4% |

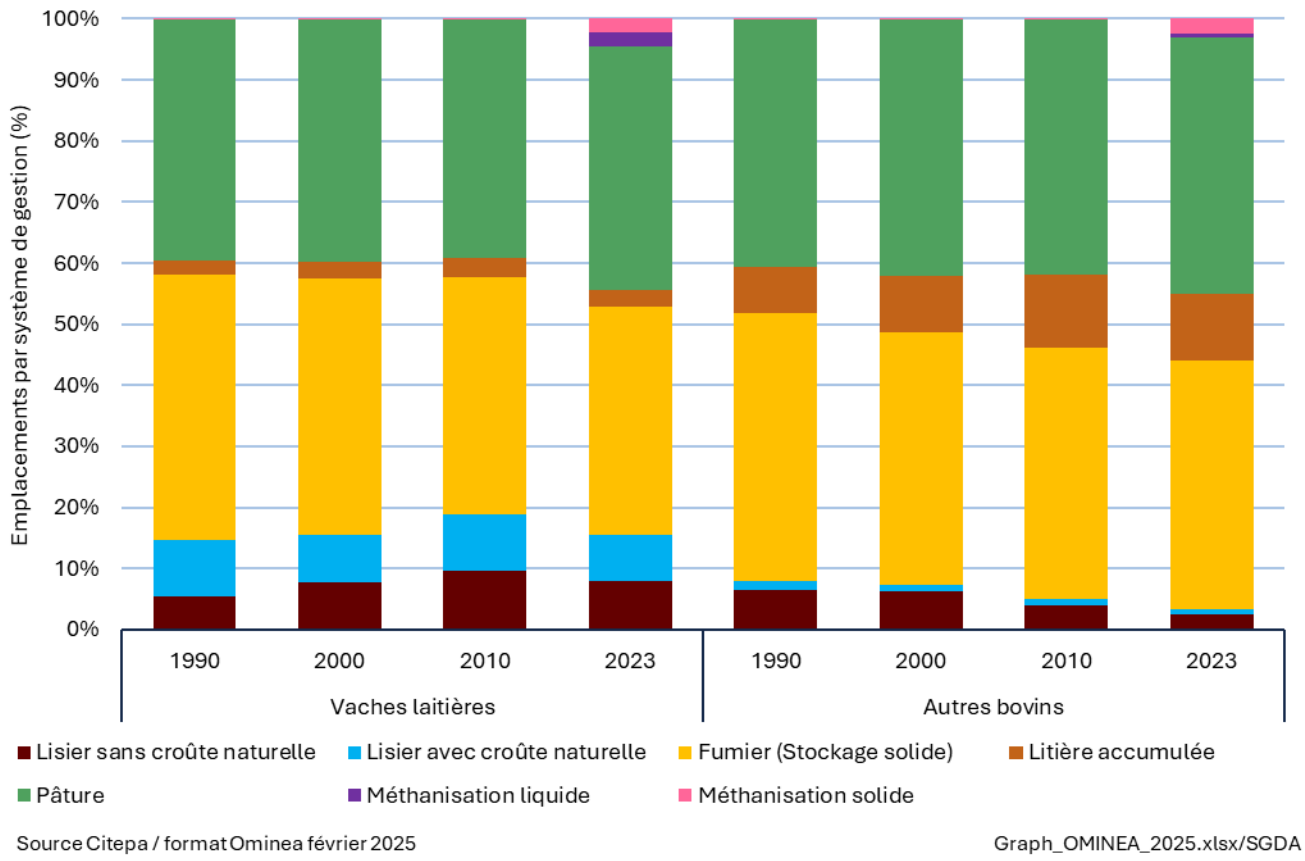



**Figure 152 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE)**

**Tableau 164 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE)**

| | | Lisier sans croûte naturelle | Fumier (Stockage solide) | Parcours | Méthanisation liquide | Méthanisation solide |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Truies | 1990 | 66,3% | 26,1% | 7,5% | 0,1% | 0,0% |
| | 2000 | 79,7% | 15,6% | 4,7% | 0,1% | 0,0% |
| | 2010 | 88,9% | 9,3% | 1,6% | 0,2% | 0,0% |
| | 2023 | 81,3% | 7,6% | 1,6% | 9,0% | 0,4% |
| Autres porcins | 1990 | 83,6% | 16,0% | 0,3% | 0,1% | 0,0% |
| | 2000 | 87,7% | 11,1% | 1,1% | 0,1% | 0,0% |
| | 2010 | 93,2% | 6,0% | 0,5% | 0,2% | 0,0% |
| | 2023 | 84,8% | 5,0% | 0,5% | 9,4% | 0,3% |

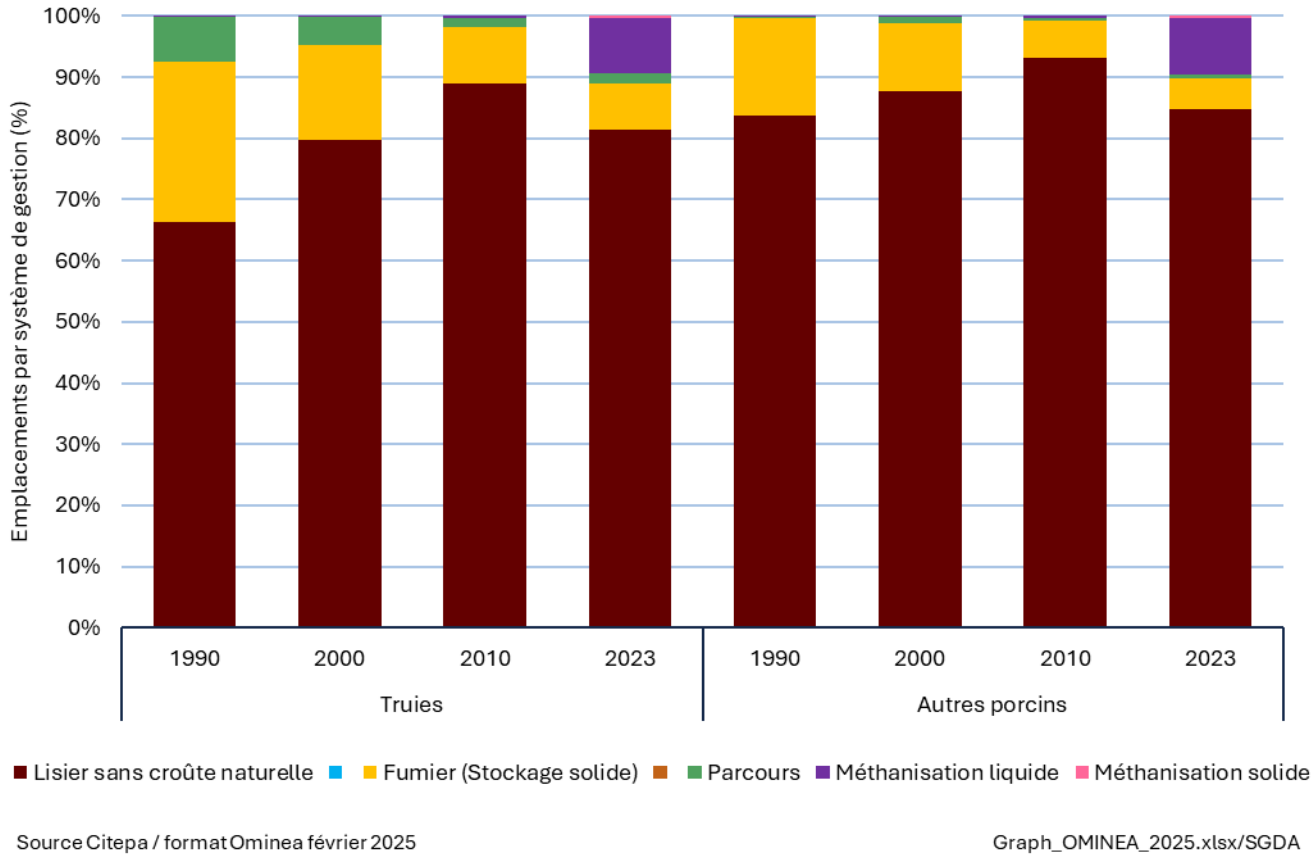



**Figure 153 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE)**

## Azote issu de la fraction hors-effluents d'élevage du digestat

Pour le calcul des émissions liées au digestat hors déjections animales, les teneurs en azote de chaque catégorie d'intrants (CIVE, déchets des IAA, ...) sont fournies par le guide EMEP 2023 ou via des données nationales et présentées dans le tableau ci-dessous. Ces teneurs sont appliquées aux quantités de matières brutes d'intrants méthanisés pour en déduire l'azote épandu par la suite. La méthode de prise en compte des émissions à l'épandage des intrants azotés est ensuite détaillée au niveau du chapitre « Sols agricoles ».

Pour rappel, le flux des éléments fertilisants, dont l'azote, dans le digesteur est dit conservatif : l'azote entré est récupéré en sortie dans le digestat, mais sous une forme différente puisqu'une partie de l'azote organique est transformée en azote ammoniacal ($NH_4^+$). Cette minéralisation de l'azote varie fortement en fonction de la nature des intrants.

**Tableau 165 : Principales teneurs en azote des intrants méthanisés**

| Catégorie d'intrant | Description | Teneur en azote (gN/kgMB) | Source |
|---|---|---|---|
| CIVE | Cultures intermédiaires à vocation énergétique | 7,0 | EMEP 2019 |
| Résidus de cultures | Paille | 5,1 | EMEP 2019 |
| Cultures dédiées | Moyenne des valeurs ensilage de maïs et ensilage d'herbe | 7,0 | EMEP 2019 |
| Déchets verts | | 3,1 | |
| Déchets végétaux des IAA | Déchets d'industries du sucre, de biscuiterie, ou de transformation de fruits et légumes… | 5,1 | EMEP 2019 |
| Déchets animaux des IAA | Déchets d'abattoirs et industries de transformation de la viande et du lait | 5,1 | EMEP 2019 |
| Biodéchets | Biodéchets | 2,3 | |
| DMA | Déchets ménagers et assimilés, y.c. fraction fermentescible des ordures ménagères | 1,3 | |
| Boues de STEP urbaine | Boues issues de station d'épuration | 6,6 | Hypothèse nationale sur les types de boues et leur teneur |
| Autres substrats | Industries non alimentaires (papeterie, chimie…) | 9,1 | |

## Excrétions azotées

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) expriment la quantité d'azote excrété annuelle d'une catégorie animale (kg N/tête/an). Ils sont pour la plupart basés sur les travaux du Corpen qui est un groupe de réflexion réunissant tous les organismes concernés par les relations entre agriculture et environnement. Il regroupe des instituts techniques, des établissements publics de recherche, des organisations professionnelles, des organisations d'usagers, des centres techniques agricoles, des agences de l'eau ainsi que des ministères. Les missions du Corpen, essentiellement scientifiques, ont permis la réalisation de nombreuses publications, notamment sur l'azote provenant des élevages.

Pour les ovins, caprins et équins, les excrétions azotées reposent sur une étude menée par l'IDELE en 2015 [983], dont l'objectif était de préciser les flux d'azote selon les régimes alimentaires en France. La méthode de calcul appliquée quantifie l'azote ingéré pour soustraire l'azote fixé par la production de viande et de lait, afin d'aboutir à l'azote excrété par l'animal.

Important : Les facteurs d'excrétion azotée nationaux pour les bovins, ovins et caprins ont été comparés à ceux recalculés par la méthode de Niveau 2 du Giec 2006. Cette comparaison est incluse en section « Gestion des déjections animales - 3.B ».

### Pour les bovins

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) ont été calculés à partir des documents Corpen [468, 469] qui permettent de moduler l'excrétion azotée en fonction de plusieurs paramètres :

- le format des animaux,
- la production laitière,
- les fourrages consommés (herbe pâturée, foin, herbe conservée, ensilage de maïs).

La part d'herbe pâturée est directement basée, pour tous les bovins, sur les valeurs régionales de temps passés au pâturage (cf. paragraphe ci-avant sur les SGDA).

Concernant les autres fourrages (foin, herbe conservée, ensilage de maïs), leur contribution aux fourrages totaux consommés a été estimée de différentes façons selon la catégorie animale.

Pour les vaches laitières : l'excrétion associée à chacun des trois types de fourrage (foin, herbe conservée, ensilage de maïs) est bien identifiée dans le Corpen. Deux publications sur la part de ces différents fourrages dans les rations moyennes types pour les vaches laitières ont été produites par le Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière (CNIEL) : l'une pour 2007 [477], l'autre pour 2018 [1251]. L'évolution de la part de ces fourrages dans les rations moyennes est présentée ci-dessous :

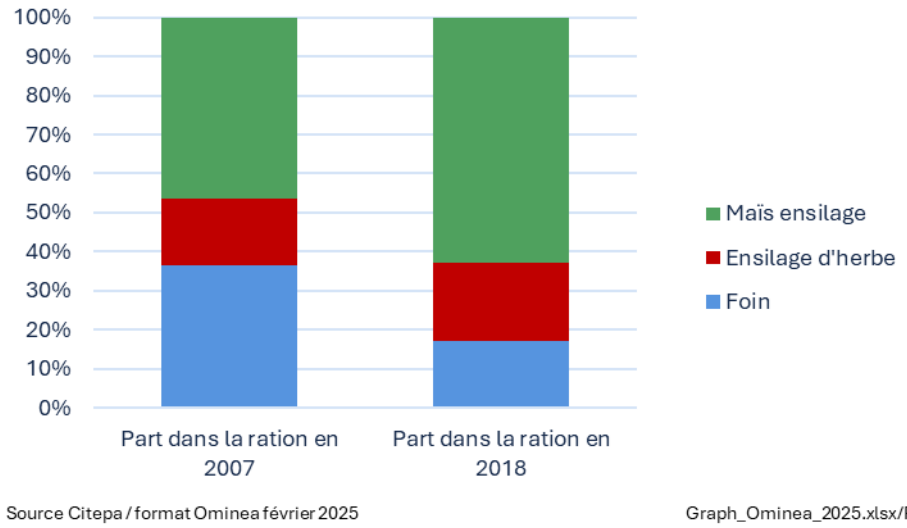



**Figure 154 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture**

**Tableau 166 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture**

| | Part dans la ration en 2007 | Part dans la ration en 2018 |
|---|---|---|
| Foin | 37% | 17% |
| Ensilage d'herbe | 17% | 20% |
| Maïs ensilage | 47% | 63% |

La part de ces fourrages dans la ration 2007 est utilisée pour la période 1990-2007, celle dans la ration 2018 à partir de 2018. Les données sont interpolées entre ces années.

Pour les autres catégories bovines pour lesquelles l'excrétion associée à chacun des trois types de fourrage (foin, herbe conservée, ensilage de maïs) est bien identifiée dans le Corpen, les rations moyennes, différenciées selon les systèmes lait ou viande, et tirées d'une étude réalisée en 2012 par l'Institut de l'Elevage pour le CIV (Centre d'Information des Viandes) [657], ont été utilisées. L'objectif de cette étude était d'actualiser les connaissances en termes de rationnement des bovins en France, à partir d'une analyse approfondie pour l'année 2008. Faute d'autres données disponibles, ces données de rations sont utilisées pour l'ensemble de la période.

Pour les catégories bovines pour lesquelles seule l'excrétion associée à deux types de fourrage est identifiée dans le Corpen, la moyenne est effectuée, ce qui revient à considérer que ces deux fourrages conservés contribuent de façon égale aux fourrages conservés totaux.

Pour les catégories bovines pour lesquelles seule l'excrétion associée à un seul type de fourrage est identifiée dans le Corpen, c'est cette excrétion qui est directement utilisée.

Pour les bovins hors vaches laitières, l'excrétion azotée par catégorie fine calculée au bâtiment est constante dans le temps, mais diffère de celle calculée à la pâture, également fixe dans le temps. L'excrétion azotée globale résultante (bâtiment + pâture), par catégorie fine, varie au cours du temps du fait des variations des proportions d'animaux gérés à la pâture.

A noter : ces proportions d'animaux gérés à la pâture dépendent à la fois de la population, estimée chaque année par région, et de la part du temps passé au pâturage (cf. plus haut).

Pour les vaches laitières, le même constat concernant les variations obtenues du fait de la gestion à la pâture s'applique. A cela vient s'ajouter une variation supplémentaire du fait de l'évolution du rendement laitier, qui est un paramètre intervenant directement dans le calcul de l'excrétion azotée. Le Corpen considère une modulation de l'excrétion azotée de 5 % par tranche de 1 000 litres de lait autour du niveau de base de rendement laitier considéré (6 000 litres). Le rendement laitier est estimé à partir de la production laitière issue de la SAA [410], ramenée aux effectifs de vaches laitières annuels.

A noter : pour 2021, le même retraitement que celui appliqué pour les cheptels a été fait au niveau de la production laitière (voir plus haut).

Enfin, lorsque les animaux sont agrégés par catégorie CRT/NFR, des variations du facteur d'excrétion sont constatées du fait des évolutions d'effectifs entre catégories fines au sein d'une même catégorie agrégée.

### Pour les porcins

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) sont calculés à partir des documents Corpen de 2003 [470], qui ont été actualisés en 2015 par le RMT Elevage & Environnement [786].

Ces deux documents permettent de moduler l'excrétion azotée en fonction :

- des stades physiologiques : ceux-ci sont encadrés, pour les porcs à l'engrais, par des fourchettes de poids de référence fixes. Si le poids à l'abattage dépasse le poids de référence fixé, une valeur d'excrétion azotée spécifique est fournie par kilogramme de poids vif supplémentaire. Ainsi, l'excrétion azotée reflète l'évolution des pratiques d'élevage. Les poids à l'abattage sont tirés des documents de Gestion Technico-économique (GTE) [505] publiés annuellement jusqu'en 2016 par l'IFIP. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022.
- de la conduite alimentaire : standard ou biphase. L'évolution du nombre d'animaux en biphase est connue grâce aux enquêtes bâtiments d'élevage (2001 ; 2008) [480] et à l'enquête pratiques d'élevage (2015) [980].

Sur la période, les données relatives à la conduite alimentaire et aux références d'excrétion azotée sont utilisées de la manière suivante :

- Conduite alimentaire :
  - de 1990 à 1996 : on fait l'hypothèse d'une conduite alimentaire uniquement standard toutes catégories confondues ;
  - de 1997 à 2000 : interpolation linéaire entre l'hypothèse 100% standard et les données de 2001 ;
  - en 2001 : les données utilisées sont celles de l'enquête bâtiment 2001 ;
  - de 2002 à 2007 : interpolation linéaire entre les données de 2001 et celles de 2008 ;
  - en 2008 : les données utilisées sont celles de l'enquête bâtiment 2008 ;
  - de 2009 à 2014 : interpolation linéaire entre les données de 2008 et celles de 2015 ;
  - de 2015 à l'année en cours : utilisation des données de 2015.
- Référence d'excrétion azotée :
  - de 1990 à 2003 : les références utilisées sont celles du Corpen [470],
  - de 2004 à 2014 : interpolation linéaire entre les données Corpen et celles du RMT [786],
  - de 2015 à l'année en cours : utilisation des données du RMT.

Une fois les Fex définis sur la période, deux approches distinctes sont appliquées :

- l'approche « cheptel » pour les truies et verrats : les Fex sont directement appliqués aux données de population,
- l'approche « production » pour les autres catégories.

L'approche « production » est préférée pour les porcins, hors truies et verrats, car elle permet d'éviter de formuler des hypothèses sur le nombre de rotations par catégorie durant l'année, ce qui est jugé plus fiable. Les données de production proviennent des statistiques AGRESTE [410]. Ces statistiques présentent les productions totales pour la métropole et les DOM (correspondant au périmètre UE), en séparant les catégories suivantes : coches et verrats ; porcelets ; porcs charcutiers.

L'excrétion azotée des porcelets post-sevrage (1) est calculée en sommant l'excrétion azotée des porcelets produits et celle des porcelets morts en cours d'élevage. Le nombre de porcelets morts en cours d'élevage est estimé à partir des taux de perte et saisie tirés des documents de Gestion Technico-économique (GTE) [505] publiés annuellement jusqu'en 2016 par l'IFIP. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022. Les porcelets morts en cours d'élevage se voient attribuer la moitié de l'excrétion azotée d'un porcelet post-sevrage vivant un stade complet.

L'excrétion azotée des porcs charcutiers (2) est calculée en sommant l'excrétion azotée des porcs charcutiers produits et celle des porcs morts en cours d'élevage. Pour les porcs charcutiers produits, les données de production sont multipliées par la somme de l'excrétion azotée du post-sevrage et de l'engraissement. Pour les porcs morts en cours d'élevage, leur nombre est estimé à partir des productions de porcs charcutiers et des taux de perte et saisie du GTE. Ces taux de pertes et saisies sont distingués par stade (post-sevrage / engraissement). Les porcs morts en cours de post-sevrage se voient attribuer la moitié de l'excrétion azotée d'un porcelet post-sevrage vivant un cycle complet. Les porcs morts en cours d'engraissement se voient attribuer l'excrétion azotée totale d'un post-sevrage à laquelle on ajoute la moitié de l'excrétion azotée d'un porc à l'engrais vivant un stade d'engraissement complet.

Enfin, ces excrétions totales calculées au périmètre UE sont réparties selon la catégorisation retenue dans l'inventaire pour estimer une excrétion moyenne par tête par an :

L'excrétion azotée des porcelets non-sevrés (<8kg) est nulle car déjà comptabilisée chez les truies.

L'excrétion azotée des porcelets post-sevrés (8 à 30kg) est estimée en comptabilisant l'excrétion totale des porcelets (notée (1) ci-dessus) et une partie de l'excrétion des porcs charcutiers (notée (2) ci-dessus), attribuée selon le rapport du Fex post-sevrage par rapport à la somme des Fex post-sevrage et engraissement. Cette excrétion totale est ensuite divisée par la population correspondante.

L'excrétion azotée des porcs à l'engrais (>30kg) est estimée en comptabilisant la partie restante de l'excrétion des porcs charcutiers. Cette excrétion totale est ensuite divisée par la population correspondante.

### Pour les volailles

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) ont été calculés à partir des documents Corpen [471], [503], [504]. Fin 2022, de nouvelles données (en cours de publication) ont été transmises pour intégration dans l'inventaire [1250]. Ces nouvelles valeurs d'excrétions azotées ont été attribuées à l'année 2020, pour simplifier les pondérations décrites ensuite. On dispose donc de quatre années de données : 1996, 2006, 2012 et 2020.

Les données sont utilisées de la manière suivante sur la période :

- de 1990 à 1996 : les données utilisées sont celles de 1996 ;
- de 1997 à 2005 : interpolation linéaire entre les données de 1996 et celles de 2006 ;
- en 2006 : les données utilisées sont celles de 2006 ;
- de 2007 à 2011 : interpolation linéaire entre les données de 2006 et celles de 2012 ;
- en 2012 : les données utilisées sont celles de 2012 ;
- de 2012 à 2020 : interpolation linéaire entre les données de 2012 et celles de 2020 ;
- de 2020 à l'année en cours : utilisation des données 2020.

Les guides précités fournissent des valeurs d'excrétions pour respectivement 41, 78, 80 et 82 catégories de volailles, alors que la statistique agricole annuelle (SAA) ne compte que 10 catégories. Ainsi, pour calculer les excrétions azotées à partir du Corpen, il faut connaître les effectifs pour chaque catégorie Corpen, puis calculer un facteur d'excrétion pondéré pour les 10 catégories de la SAA.

- Différentes sources de pondération sont disponibles :
- les enquêtes bâtiments 2008 [480] : ces enquêtes fournissent les effectifs nationaux pour 46 catégories de volailles ;
- les données de productions Itavi [987] : ces données fournissent le détail par type de production en poules pondeuses (au sol, bio, en cage, label rouge, plein air) et en poulets de chair (label rouge, bio, export, lourd, CCP, standard, autres productions assimilables à des labels rouge (AOP, autres SIQO)) ;
- les données de productions issues des statistiques Agreste [410] : ces données fournissent les données de productions notamment pour les canards gras, les canards à rôtir, les dindes, les oies et les pintades ;
- les données du recensement agricole 2020 [1249] : ces données fournissent le détail des places pour certaines catégories, notamment pour les poules pondeuses d'œuf à couver (en distinguant la filière chair de la filière ponte), les poulettes et les cailles.

Trois grands modes de retraitement des données sont appliqués pour estimer l'azote excrété par place :

- Estimation directe de l'azote excrété par place : on dispose dans les données des durées d'élevage et de l'azote excrété par tête. On estime alors l'azote moyen excrété par place, ramené à l'année : excrétion azotée par animal / durée d'élevage x 365.
- Estimation de l'azote total à partir des productions de l'année : on dispose dans les données de l'azote excrété par tête ainsi que des données de productions par sous-catégorie. Cette excrétion totale est ensuite ramenée aux effectifs de l'année en cours pour la catégorie concernée.
- Estimation de l'azote total à partir des productions 2008 : on dispose dans les données de l'azote excrété par tête mais on ne dispose pas du détail des productions par sous-catégorie et par année. On utilise la donnée de production 2008 par sous-catégorie, et on indexe ensuite le résultat sur la production de l'année.
- Par exemple : azote excrété 2012 pour la catégorie Canard à rôtir = Σ (azote excrété par sous-catégorie 2012 x production 2008) / Production totale 2008 x Production totale 2012.
- Cette excrétion totale est ensuite ramenée aux effectifs de l'année en cours pour la catégorie concernée.

Le tableau suivant récapitule, pour chaque catégorie volailles, la source de pondération utilisée ainsi que le mode de retraitement appliqué :

**Tableau 167 : Récapitulatif des sources de pondération et retraitements effectués pour estimer l'azote excrété des volailles**

| Catégorie SAA | Source de pondération | Mode de retraitement |
|---|---|---|
| Poules pondeuses d'œufs à couver | Enquêtes bâtiments 2008 + Recensement agricole 2020 | Estimation directe de l'azote excrété par place |
| Poules pondeuses d'œufs de consommation | Productions Itavi | Estimation directe de l'azote excrété par place |
| Poulettes | Enquêtes bâtiments 2008 + Recensement agricole 2020 | Estimation directe de l'azote excrété par place |

| | | |
|---|---|---|
| Poulets de chair (y compris coqs et coquelets) | Productions Itavi | Estimation de l'azote total à partir des productions de l'année |
| Canards à gaver | Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste | Estimation de l'azote total à partir des productions 2008 |
| Canards à rôtir | Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste | Estimation de l'azote total à partir des productions 2008 |
| Dindes et dindons (au 1er octobre) | Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste | Estimation de l'azote total à partir des productions 2008 |
| Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver) | Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste | Estimation de l'azote total à partir des productions 2008 |
| Pintades | Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste | Estimation de l'azote total à partir des productions 2008 |
| Cailles d'élevage | Enquêtes bâtiments 2008 + Recensement agricole 2020 | Estimation directe de l'azote excrété par place |

### Pour les ovins

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) ont été calculés majoritairement à partir du document de l'IDELE [983]. Les catégories étudiées sont listées ci-dessous.

- Brebis laitières. Deux cas types sont proposés dans la publication de l'IDELE : un cas type Roquefort (système spécialisé ovin lait rayon de Roquefort, mont de Lacaune), et un cas type basco béarnais (système mixte ovin lait - bovin viande, Pyrénées Atlantique). En France, c'est le système type Roquefort qui est le plus représentatif des conditions classiques d'élevage (>60% des effectifs) : la valeur de ce cas type a été retenue pour cette catégorie.
- Brebis allaitantes. Deux cas types sont proposés dans la publication de l'IDELE : un cas type Culture- ovin de bergerie pour la production d'agneaux de bergerie (dit « agneaux de Pâques ») des zones céréales - élevage (Midi-Pyrénées, Sud-Ouest, Bassin parisien et Grand est) ; un cas type Ovin herbe pour l'élevage de moutons dans les zones allaitantes françaises (Sud-Ouest, Ouest et Massif Central).

  La moyenne des valeurs de ces deux cas types a été retenue pour cette catégorie.
- Agnelles de système ovin viande. Une seule donnée est fournie pour cette catégorie.
- Agnelles Lacaune (système ovin lait). Une seule donnée est fournie pour cette catégorie.
- Agneau engraissé (après sevrage). Trois systèmes de production d'agneaux engraissés sont proposés dans la publication de l'IDELE : un système Culture - ovin viande de bergerie (cf. plus haut) ; un système Ovin viande herbe (cf. plus haut) ; un système agneau de type aveyronnais.

D'après [983], les agneaux de type aveyronnais représentent 10% des effectifs. On fait l'hypothèse que les deux autres systèmes sont répartis de manière égale (45% chacun). Les valeurs d'excrétion azotée de ces trois systèmes sont pondérées par ces pourcentages pour obtenir la valeur retenue pour la catégorie « agneaux ».

A noter : les valeurs d'excrétion azotée sont calculées sur la durée de vie de l'animal, ici inférieure à un an. Un retraitement est effectué pour recalculer une valeur d'excrétion azotée sur l'année : l'excrétion azotée est divisée par la durée d'élevage en jours, puis multipliée par 365.

L'objectif est ensuite de pouvoir attribuer ces valeurs d'excrétion azotée par catégorie animale de la SAA. Pour les brebis laitières et allaitantes, la correspondance est directe.

En revanche, pour les agnelles, la valeur d'excrétion azotée retenue est calculée en pondérant les valeurs « agnelles de système ovin viande » et « agnelles Lacaune (système ovin lait) » :

- de 1990 à 2007 : au prorata des effectifs différenciés entre les agnelles laitières (agnelage à 13 mois) et les agnelles allaitantes (agnelage à 15 mois) fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 ;
- à partir de 2020 : au prorata des effectifs différenciés entre les agnelles lait et viande fournis dans le recensement agricole pour 2020 [1249] ;
- de 2008 à 2019 : interpolation des données.

La dernière catégorie de la SAA regroupe à la fois les agneaux et les béliers, cependant ces derniers ne sont pas inclus dans la publication IDELE [983].

L'excrétion azotée des béliers est estimée en appliquant les équations du Giec 2006 [656]. L'équation 10.32 du Giec 2006 [656] permet d'estimer, à partir des énergies brutes ingérées et des teneurs en protéine brute dans les rations, la quantité d'azote consommée quotidiennement par l'animal en kgN/animal/jour:

$$N_{consommation} = \frac{EB}{18{,}45} \times \frac{PB\%}{100/6{,}25}$$

Avec : EB : Energie brute ingérée (MJ/animal/jour) ;
PB% : teneur en protéines brutes dans la ration ;
$N_{consommation}$ : quantité d'azote consommée quotidiennement par l'animal (kgN/animal/jour).

L'énergie brute ingérée pour les béliers est tirée du projet MONDFERENT II mené par l'Inra et décrit en section « Fermentation entérique – 3A ». Ce projet a permis de déterminer différents paramètres spécifiques aux animaux des élevages caprins et ovins français, par catégorie animale fine. Parmi ces paramètres, répertoriés dans un fichier de calcul transmis par l'Inra [797], se trouve l'énergie brute ingérée en MJ/jour.

La teneur en protéines brutes dans la ration a été estimée en moyennant les teneurs en protéines brutes dans la ration de la publication de l'IDELE [983] des brebis laitières et allaitantes. La valeur obtenue est de 14,9%.

Le paramètre $N_{consommation}$ (kgN/animal/jour) est ensuite multiplié par 365 pour obtenir les quantités annuelles d'azote consommées ($N_{conso_annuelle}$). Enfin, l'équation 10.31 du Giec 2006 [656] est appliquée pour estimer la quantité d'azote excrétée sur l'année par l'animal :

$$\text{Nex} = N_{conso_annuelle} \times (1 - N_{retention})$$

Avec : $N_{conso_annuelle}$ = Quantité d'azote consommée par an (kgN/animal/an) ;
$N_{retention}$ =Fraction de la consommation annuelle d'azote retenue par l'animal (valeur par défaut proposée par le Giec 2006 dans le tableau 10.20 pour les chèvres et les moutons = 0,1) ;
Nex = Quantité annuelle d'azote excrétée

Le Fex retenu pour la catégorie « autres ovins (y compris béliers) » est calculé en pondérant la valeur déjà pondérée « Agneaux », expliquée plus haut, et celle des béliers, calculée à partir des équations du Giec ;

- de 1990 à 2007 : au prorata des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 ;
- à partir de 2020 : au prorata des effectifs différenciés fournis dans le recensement agricole pour 2020 [1249] ;
- de 2008 à 2019 : interpolation des données.

A noter : les Fex rapportés pour la catégorie « ovins » varient au cours du temps en fonction des effectifs de chacune des sous-catégories pour l'année considérée.

### Pour les caprins

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) ont été calculés majoritairement à partir du document de l'IDELE [983]. Les catégories étudiées sont listées ci-dessous.

Chèvres laitières. Trois systèmes de production sont proposés dans la publication de l'IDELE : un système 0 pâturage (Centre Ouest de la France) avec des rations à base d'ensilage de maïs ; un système 0 pâturage (Centre Ouest de la France) avec des rations à base de foin de luzerne ; un système pastoral avec du pâturage. La moyenne des valeurs de ces trois systèmes a été retenue pour cette catégorie.

Chevrette de 0 à 12 mois. Une seule donnée est fournie pour cette catégorie.

Chevreaux engraissés. Une seule donnée est fournie pour cette catégorie.

A noter : la valeur d'excrétion azotée est calculée sur la durée de vie de l'animal, ici inférieure à un an. Un retraitement est effectué pour recalculer une valeur d'excrétion azotée sur l'année : l'excrétion azotée est divisée par la durée d'élevage, puis multipliée par 365.

L'objectif est ensuite de pouvoir attribuer ces valeurs d'excrétion azotée par catégorie animale de la SAA. Pour les chèvres laitières et chevrettes, la correspondance est directe. En revanche, la dernière catégorie de la SAA regroupe à la fois les chevreaux et les boucs, cependant ces derniers ne sont pas inclus dans la publication IDELE [983].

L'excrétion azotée des boucs est estimée en appliquant les équations du Giec 2006 [656]. L'équation 10.32 du Giec 2006 [656] permet d'estimer, à partir des énergies brutes ingérées et des teneurs en protéine brute dans les rations, la quantité d'azote consommée quotidiennement par l'animal :

$$N_{consommation} = \frac{EB}{18{,}45} \times \frac{PB\%}{100/6{,}25}$$

Avec : EB : Energie brute ingérée (MJ/animal/jour) ;
PB% : teneur en protéines brutes dans la ration ;
$N_{consommation}$ : quantité d'azote consommée quotidiennement par l'animal (kgN/animal/jour).

L'énergie brute ingérée pour les boucs est tirée du projet MONDFERENT II mené par l'Inra et décrit en section « Fermentation entérique – 3A ». Ce projet a permis de déterminer différents paramètres spécifiques aux animaux des élevages caprins et ovins français, par catégorie animale fine. Parmi ces paramètres, répertoriés dans un fichier de calcul transmis par l'Inra [797], se trouve l'énergie brute ingérée en MJ/jour.

La teneur en protéines brutes dans la ration a été estimée en moyennant les teneurs en protéines brutes dans la ration de la publication de l'IDELE [983] des chèvres laitières. La valeur obtenue est de 14,4%.

Le paramètre Nconsommation (kgN/animal/jour) est ensuite multiplié par 365 pour obtenir les quantités annuelles d'azote consommées (Nconso_annuelle). Enfin, l'équation 10.31 du Giec 2006 [656] est appliquée pour estimer la quantité d'azote excrétée sur l'année par l'animal :

$$N_{ex} = N_{conso_annuelle} \times (1 - N_{retention})$$

Avec : $N_{conso_annuelle}$ = Quantité d'azote consommée par an (kgN/animal/an) ;
$N_{retention}$ =Fraction de la consommation annuelle d'azote retenue par l'animal (valeur par défaut proposée par le Giec 2006 dans le tableau 10.20 pour les chèvres et les moutons = 0,1) ;
$N_{ex}$ = Quantité annuelle d'azote excrétée

Le Fex retenu pour la catégorie « autres caprins (y compris boucs) » est calculé en pondérant la valeur pour les chevreaux engraissés, mentionnée plus haut, et celle des boucs, calculée à partir des équations du Giec :

- de 1990 à 2007 : au prorata des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 ;
- à partir de 2020 : au prorata des effectifs différenciés fournis dans le recensement agricole pour 2020 [1249] ;
- de 2008 à 2019 : interpolation des données.

A noter : les Fex rapportés pour la catégorie « caprins » varient au cours du temps en fonction des effectifs de chacune des sous-catégories pour l'année considérée.

### Pour les équins

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) ont été calculés à partir du document de l'IDELE [983]. Pour chaque catégorie étudiée et listée ci-dessous, une seule valeur d'excrétion azotée est fournie :

- Trait – jument suitée,
- Trait – poulain/pouliche de 12-24 mois,
- Sports et loisirs – jument suitée,
- Sports et loisirs – cheval au travail,
- Sports et loisirs – poney AB (200 kg),
- Sports et loisirs – poney CD (200 kg),
- Sports et loisirs – cheval au travail.

A noter : pour les juments suitées, l'excrétion azotée proposée dans le document prend également en compte l'excrétion azotée du poulain pendant les 7 premiers mois de sa vie (jusqu'à son sevrage).

Ces valeurs d'excrétion azotée sont combinées pour estimer le Fex par catégorie animale de la SAA, c'est-à-dire pour les catégories suivantes : chevaux de selle, sport, loisirs et course / chevaux lourds / ânes, mulets, bardot.

Pour cela, les données de l'Institut Français du Cheval et de l'Equitation (IFCE) ont été consultées [984]. Ces dernières fournissent des informations annuelles concernant

- L'évolution des juments saillies,
- Le nombre d'étalons actifs,
- L'évolution des naissances.

Pour chacune de ces catégories, sont distingués :

- Les chevaux de course (C1),
- Les races françaises de selle (C2),

- Les races étrangères de selle (C3),
- Les poneys (C4),
- Les chevaux de trait (C5),
- Les ânes et mulets (C6).

Ces données sont retraitées pour constituer les quatre catégories suivantes :

- Chevaux de course et de selle (C1+C2+C3), en distinguant les juments, les étalons et les naissances ;
- Poneys (C4), en distinguant les juments, les étalons et les naissances ;
- Chevaux lourds (C5), en distinguant les juments, les étalons et les naissances ;
- Anes et mulets (C6), en distinguant les juments, les étalons et les naissances.

Elles ont ensuite été croisées avec les données disponibles dans les annuaires ECUS publiés par l'IFCE [985]. Les annuaires des années 2012, 2016, 2020 et 2021 ont été utilisés. Ils présentent les données d'effectifs équins annuels totaux, classés selon les catégories selle, course, trait, âne et poney. La connaissance des effectifs totaux permet de recalculer un solde pour la catégorisation précitée (chevaux de course et de selle, poneys, chevaux lourds, ânes). Ainsi, chaque catégorie est alors divisée en sous-catégories (juments, étalons, naissances, solde de la catégorie).

Pour la catégorie SAA chevaux de selle, sport, loisirs et course, les valeurs fournies par le document de l'IDELE sont pondérées par les effectifs de l'IFCE :

- Catégorie « Chevaux de course et de selle » :
    - Jument : utilisation de la valeur IDELE « Sports et loisirs - Jument suitée » ;
    - Etalon : utilisation de la valeur IDELE « Sports et loisirs – Cheval au travail » ;
    - Naissance : pondération de la valeur IDELE « Sports et loisirs - Cheval au travail » pour ne prendre en compte que 5 mois d'excrétion (hypothèse Citepa) ;
    - Solde de la catégorie : utilisation de la valeur IDELE « Sports et loisirs – Cheval au travail »
- Catégorie « Poneys » : moyenne des valeurs IDELE : Sports et loisirs – poney AB (200kg) et Sports et loisirs – poney CD (200kg).

Pour la catégorie SAA chevaux lourds, le document de l'IDELE propose des valeurs seulement pour les juments. Pour les autres catégories, les travaux réalisés par William Martin Rosset, chercheur à l'INRA de Clermont-Theix [473] ont été utilisés. Ces travaux proposent des méthodes d'estimation de l'excrétion azotée journalière des équins à partir des poids vifs des animaux. Le calcul a été effectué pour estimer l'excrétion azotée d'un cheval de selle (poids vif moyen de 560 kg tiré du document de l'IDELE) et d'un cheval de trait (poids vif moyen de 778 kg tiré du document de William Martin Rosset), afin de déterminer le ratio entre ces deux catégories. Ce ratio est ensuite utilisé pour pondérer les valeurs de l'IDELE. Les valeurs retenues sont les suivantes, pondérées par les effectifs de l'IFCE :

- Jument : utilisation de la valeur IDELE « Trait – jument suitée » ;
- Etalon : utilisation de la valeur IDELE « Sports et loisirs – Cheval au travail » multipliée par le ratio recalculé à partir des données de William Martin Rosset ;
- Naissance : pondération de la valeur IDELE « Trait – poulain/pouliche de 12-24 mois » pour ne prendre en compte que 5 mois d'excrétion (hypothèse Citepa) ;
- Solde de la catégorie : utilisation de la valeur recalculée pour l'étalon ci-dessus.

Pour la catégorie SAA ânes, mulets, bardot, le calcul a été effectué à partir des équations de William Martin Rosset, pour un âne d'un poids vif moyen de 165 kg (poids tiré du document de William Martin Rosset) et pour un mulet d'un poids vif moyen de 250 kg (poids tiré du document de William Martin Rosset). La pondération entre ces deux sous-catégories est tirée des données de l'IFCE [984].

### Pour les lapines reproductrices

Les facteurs d'excrétion azotés (Fex) sont issus des travaux de Aubert et Coutelet [655] et correspondent aux lapines et à leurs suites.

### Pour les cervidés d'élevage

Faute de données spécifiques pour les cervidés d'élevage, la valeur définie pour les ovins leur est attribuée.

### Récapitulatif des références pour l'excrétion azotée

Le tableau suivant récapitule les différentes sources des Fex par catégorie animale de la SAA :

**Tableau 168 : Récapitulatif des sources utilisées pour le calcul des facteurs d'excrétion azotée**

| Catégorie SAA | Descriptif rapide |
|---|---|
| Vaches laitières | CORPEN 1999 + Données CNIEL 2007 et 2018 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs) |
| Vaches nourrices | CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs) |
| Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans | CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe) |
| Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans | CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe) |
| Génisses de boucherie de plus de 2 ans | Hypothèse d'une excrétion azotée égale à celle des génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans |
| Mâles de type laitier de plus de 2 ans | CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs) |
| Mâles de type viande de plus de 2 ans | CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs) |
| Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans | CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe) |
| Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans | CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe) |
| Génisses de boucherie de 1 à 2 ans | Hypothèse d'une excrétion azotée égale à celle des génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans |
| Mâles de type laitier de 1 à 2 ans | CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs) |
| Mâles de type viande de 1 à 2 ans | CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs) |
| Veaux de boucherie | CORPEN 2001 - Consommation de lait exclusivement |
| Autres femelles de moins de 1 an | CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe) |
| Autres mâles de moins de 1 an | CORPEN 2001 + Ensilage de maïs exclusivement |
| Porcelets non sevrés (<8kg) | Excrétion azotée nulle car déjà comptabilisée chez les truies |
| Porcelets sevrés de 8 à 30 kg | Recalcul à partir des productions, du GTE, du RMT, et de l'évolution de l'alimentatoin biphase (enquêtes) |
| Truies de 50 kg et plus | RMT + Evolution de l'alimentation biphase (enquêtes) |
| Verrats de 50 kg et plus | Hypothèse d'une excrétion azotée égale à celle des truies |
| Porcs à l'engrais de 30 kg et plus | Recalcul à partir des productions, du GTE, du RMT, et de l'évolution de l'alimentatoin biphase (enquêtes) |
| Chevrettes | IDELE 2016 |
| Chèvres (femelles ayant mis bas) | IDELE 2016 |
| Autres caprins (y compris boucs) | IDELE 2016 + MONDFERENT II |
| Agnelles | IDELE 2016 |
| Brebis mères allaitantes (y c. réforme) | IDELE 2016 |
| Brebis mères laitières (y c. réforme) | IDELE 2016 |
| Autres ovins (y compris béliers) | IDELE 2016 + MONDFERENT II |
| Chevaux de selle, sport, loisirs et course | IDELE 2016 + données IFCE |
| Chevaux lourds | IDELE 2016 + ratio William Martin Rosset + données IFCE |
| Anes, mulets, bardots | William Martin Rosset + données IFCE |
| Poules pondeuses d'œufs à couver | CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020 |
| Poules pondeuses d'œufs de consommation | CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020 |
| Poulettes | CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020 |
| Poulets de chair (y compris coqs et coquelets) | CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020 |
| Canards à gaver | CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020 |
| Canards à rôtir | CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020 |
| Dindes et dindons (au 1er octobre) | CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020 |
| Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver) | CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020 |
| Pintades | CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020 |
| Cailles d'élevage | CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020 |
| Lapines reproductrices | Aubert et Coutelet |

Les Fex suivants sont obtenus pour la métropole, par catégorie animale détaillée :

**Tableau 169 : Evolution des Fex en métropole par catégorie animale détaillée (kg N/tête/an)**

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vaches laitières | 104,2 | 107,5 | 108,5 | 110,9 | 112,7 | 114,8 | 116,0 | 116,8 |
| Vaches nourrices | 107,3 | 107,4 | 107,9 | 107,6 | 107,5 | 108,0 | 108,0 | 108,0 |
| Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans | 69,6 | 69,7 | 69,8 | 69,5 | 69,2 | 69,2 | 69,1 | 69,1 |
| Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans | 67,0 | 67,0 | 67,3 | 67,0 | 66,9 | 66,9 | 66,9 | 66,9 |
| Génisses de boucherie de plus de 2 ans | 50,1 | 50,1 | 50,2 | 50,0 | 49,6 | 49,6 | 49,6 | 49,6 |
| Mâles de type laitier de plus de 2 ans | 79,1 | 79,1 | 79,1 | 78,7 | 78,3 | 78,4 | 78,6 | 78,6 |
| Mâles de type viande de plus de 2 ans | 77,8 | 77,9 | 78,3 | 77,9 | 77,7 | 77,8 | 77,8 | 77,7 |
| Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans | 53,5 | 53,5 | 53,5 | 53,4 | 53,3 | 53,3 | 53,2 | 53,2 |
| Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans | 51,1 | 51,1 | 51,3 | 51,1 | 51,1 | 51,1 | 51,1 | 51,1 |
| Génisses de boucherie de 1 à 2 ans | 40,7 | 40,7 | 40,8 | 40,6 | 40,5 | 40,5 | 40,5 | 40,5 |
| Mâles de type laitier de 1 à 2 ans | 57,8 | 57,8 | 57,8 | 57,6 | 57,6 | 57,5 | 57,6 | 57,6 |
| Mâles de type viande de 1 à 2 ans | 56,4 | 56,5 | 56,5 | 56,3 | 56,1 | 56,2 | 56,1 | 56,2 |
| Veaux de boucherie | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 |
| Autres femelles de moins de 1 an | 26,5 | 26,5 | 26,6 | 26,7 | 26,8 | 26,8 | 26,8 | 26,8 |
| Autres mâles de moins de 1 an | 27,6 | 27,6 | 27,6 | 27,6 | 27,6 | 27,6 | 27,6 | 27,6 |
| Porcelets non sevrés (<8kg) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg) | 3,8 | 4,1 | 4,0 | 4,1 | 4,1 | 4,2 | 4,2 | 4,4 |
| Truies de 50 kg et plus | 24,6 | 24,6 | 22,4 | 21,5 | 21,0 | 20,7 | 20,7 | 20,7 |
| Verrats de 50 kg et plus | 24,6 | 24,6 | 22,4 | 21,5 | 21,0 | 20,7 | 20,7 | 20,7 |
| Porcs à l'engrais (>30kg) | 12,9 | 14,2 | 13,9 | 13,0 | 12,8 | 12,3 | 12,0 | 12,7 |
| Chevrettes | 7,6 | 7,6 | 7,6 | 7,6 | 7,6 | 7,6 | 7,6 | 7,6 |
| Chèvres (femelles ayant mis bas) | 17,2 | 17,2 | 17,2 | 17,2 | 17,2 | 17,2 | 17,2 | 17,2 |
| Autres caprins (y compris boucs) | 9,1 | 9,1 | 9,1 | 9,1 | 9,5 | 10,1 | 10,7 | 10,7 |
| Agnelles | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 |
| Brebis mères allaitantes (y c. réforme) | 12,8 | 12,8 | 12,8 | 12,8 | 12,8 | 12,8 | 12,8 | 12,8 |
| Brebis mères laitières (y c. réforme) | 17,1 | 17,1 | 17,1 | 17,1 | 17,1 | 17,1 | 17,1 | 17,1 |
| Autres ovins (y compris béliers) | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 4,2 | 4,8 | 5,3 | 5,3 |
| Chevaux de selle, sport, loisirs et course | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| Chevaux lourds | 70,8 | 70,8 | 70,8 | 70,8 | 70,8 | 70,8 | 70,8 | 70,8 |
| Anes, mulets, bardots | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 |
| Poules pondeuses d'œufs à couver | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Poules pondeuses d'œufs de consommation | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Poulettes | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Poulets de chair (y compris coqs et coquelets) | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Canards à gaver | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,3 |
| Canards à rôtir | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| Dindes et dindons (au 1er octobre) | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,9 |
| Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver) | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Pintades | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Cailles d'élevage | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Lapines reproductrices | 8,1 | 8,1 | 7,7 | 7,5 | 7,3 | 7,5 | 7,5 | 7,5 |

Le tableau suivant présente les Fex par catégorie animale agrégée au périmètre UE :

**Tableau 170 : Evolution des Fex au périmètre UE par catégorie animale agrégée (kg N/tête/an)**

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vaches laitières | 104,2 | 107,5 | 108,5 | 110,9 | 112,7 | 114,8 | 116,0 | 116,8 |
| Autres bovins | 57,3 | 59,1 | 58,8 | 59,1 | 59,6 | 59,6 | 60,0 | 60,0 |
| Truies | 24,6 | 24,6 | 22,4 | 21,5 | 21,0 | 20,7 | 20,7 | 20,7 |
| Autres porcins | 8,4 | 9,2 | 9,1 | 8,8 | 8,7 | 8,6 | 8,4 | 8,8 |
| Caprins | 14,6 | 14,5 | 14,4 | 14,4 | 14,4 | 14,4 | 14,3 | 14,5 |
| Ovins | 10,7 | 11,0 | 11,1 | 11,0 | 11,2 | 11,3 | 11,3 | 11,4 |
| Chevaux | 54,2 | 53,3 | 52,9 | 52,6 | 52,5 | 52,6 | 52,5 | 52,5 |
| Mules et ânes | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 |
| Poules | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Poulets | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Autres volailles | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Lapines reproductrices | 8,1 | 8,1 | 7,7 | 7,5 | 7,3 | 7,5 | 7,5 | 7,5 |

Rappel : les cervidés d'élevage (Nouvelle-Calédonie uniquement) se voient attribuer le Fex des ovins faute de données spécifiques disponibles.

## Excrétions carbonées

L'excrétion carbonée des animaux est utilisée pour estimer les émissions de $CH_4$ liées à la gestion des déjections. Le paramètre représentant cette excrétion est noté SV pour Solides Volatiles. Les méthodes d'estimation varient selon les catégories animales.

### Vaches laitières

Avec : MOI = Matière Organique Ingérée (kg/jour) ;
MODI = Matière Organique Digestible Ingérée (kg/jour)
Avec : EB = Energie Brute ingérée (MJ/jour) ;
MO = teneur en matière organique de la ration (g/kg MS)

L'énergie brute ingérée découle de la matière sèche ingérée et de la teneur en énergie de la ration, variables estimées à partir des mêmes données que celles mentionnées pour la MOI et la MODI.

L'excrétion carbonée totale obtenue varie au cours du temps et selon les régions.

### Autres bovins

Pour les autres bovins, les valeurs du paramètre SV sont issues du projet Mondferent I [508, 509]. Le projet Mondferent I a permis d'estimer, par sous-catégorie bovine, les quantités de Matière Organique Digestible Ingérées (MODI) utilisées pour calculer le $CH_4$ entérique. Les données de rationnement moyen à l'échelle nationale [657] combinées avec les caractéristiques moyennes des aliments tirées des tables rouges de l'INRA [658], permettent également de calculer les quantités de Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI), grâce à un ratio MONDI/MODI calculé par type de production (lait/viande) et par mode d'alimentation (auge/pâturage). Ce ratio MONDI/MODI est appliqué à la MODI pour obtenir la MONDI. La MONDI ainsi calculée correspond aux fèces (MONDI fèces), et ne tient pas compte de la MONDI des urines (MONDI urines).

Contrairement au Giec 2019, la méthode Mondferent I est fondée sur l'utilisation de la Matière Organique Non Digestible et non des énergies. Dans la méthodologie Mondferent I, l'hypothèse est faite que la matière organique contenue dans les urines n'émettra que très peu de CH4 : le SV urine est alors négligé dans les calculs. Des recherches complémentaires sont à effectuer pour estimer les potentiels méthanogènes de la matière organique contenue dans les urines. On obtient donc :

SV = SV fèces + SV urine, avec SV fèces = MONDI fèces et SV urine = 0

Les SV calculés sont constants dans le temps pour les 14 catégories animales d'autres bovins, et sont listés plus bas (tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV »). Cependant, il est important de noter que du fait de la variation annuelle des effectifs de ces catégories animales, le paramètre SV pour la catégorie agrégée « autres bovins » peut varier annuellement.

### Porcins

Pour les porcins, les valeurs du paramètre SV sont issues du projet Mondferent II [966], qui propose des valeurs pour les porcelets en post sevrage (entre 8kg et 30kg), les porcs à l'engrais (>30kg) et les truies. Le SV des porcelets non sevrés (<8kg) est égal à 0 car on considère qu'il est déjà pris en compte dans celui des truies.

La méthodologie appliquée est celle développée par Rigolot et al [793]. Dans cette méthode, le SV est assimilé à la matière organique excrétée (OM excreted). Ce paramètre est estimé à partir de l'ingestion de matière organique et de la digestibilité associée. L'ingestion de matière organique est calculée à partir d'une ration alimentaire moyenne et d'une teneur moyenne en matière organique de la ration. La matière organique excrétée correspond à la fraction non digérée de la matière organique. L'équation suivante est appliquée :

| OM excreted (kg/tête) = Aliment x [ (FeedOM1) x (1-dOM1) x Prop1 + (FeedOM2) x (1-dOM2) x Prop2 ] |
|---|

Avec : Aliment = quantité d'aliment ingérée au cours de la vie de l'animal (kg/tête) ;
FeedOM1 et FeedOM2: teneur moyenne en matière organique des aliments (kg/kg) ;
dOM1 et dOM2 : digestibilité de la matière organique des aliments ;
Prop1 et Prop2 : répartition entre les deux aliments

Le paramètre Aliment (kg/animal) pour les porcins (post-sevrage et engraissement) provient des documents de Gestion Technico-économiques publiés chaque année par l'IFIP jusqu'en 2016 [505]. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022. Pour les truies, ce paramètre est fixe dans le temps et provient du projet Mondferent II.

Les teneurs en matière organique des aliments sont fixes dans le temps mais sont distinguées selon le mode d'alimentation : standard ou biphase. Elles ont été formulées à dires d'experts dans le projet Mondferent II. Dans la formule ci-dessus, les paramètres FeedOM1 ; dOM1 ; Prop1 ; FeedOM2 ; dOM2 et Prop2 sont non nuls pour l'alimentation biphase. En revanche, pour l'alimentation standard, seuls les paramètres FeedOM1 ; dOM1 et Prop1 sont non nuls. La part des animaux gérés en alimentation biphase est connue grâce aux enquêtes bâtiments d'élevage 2001, 2008 (voir section « Systèmes de gestion des déjections animales ») et grâce à l'enquête pratiques d'élevage 2015 [980].

Pour les catégories porcelets en post sevrage (entre 8kg et 30kg) et les porcs à l'engrais (<30kg), le paramètre SV (OM excreted) ainsi calculé évolue dans le temps du fait de l'évolution du paramètre Aliment et de la proportion d'animaux en biphase sur la période. Pour les truies, l'évolution est liée à la proportion d'animaux en biphase sur la période.

Pour calculer le SV final à appliquer à ces deux sous-catégories porcines, l'approche mise en place est l'approche production. Cette approche est jugée plus pertinente car les SV sont exprimés par tête, et ces animaux vivant moins d'un an, il est plus réaliste d'utiliser des données de productions que de cheptels. Les données d'abattages bruts sont fournies par la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée par le SSP [410]. Elles présentent les productions totales pour la métropole et les DOM (correspondant au périmètre UE). Ces données sont ensuite corrigées pour tenir compte des taux de pertes et saisies, publiés chaque année par l'IFIP au sein de ses documents de Gestion Technico-économiques jusqu'en 2016 [505]. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022. Les SV du projet MONDFERENT II sont appliqués à ces données de productions corrigées. Les quantités totales de SV excrétées ainsi calculées sont ensuite utilisées pour recalculer un SV moyen en rapportant ces quantités aux populations tirées de la SAA [410] et retravaillées par le Citepa (voir section « Agriculture | Introduction »).

Faute de données spécifiques aux verrats, le SV des truies leur est attribué. Cela pourra évoluer à l'avenir pour être plus représentatif de cette catégorie.

Les SV calculés sont listés plus bas (tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV »). En plus des variations annoncées plus haut, du fait de la variation annuelle des effectifs de la sous-catégorie « Autres porcins », le SV pour la catégorie agrégée varie annuellement.

### Ovins et Caprins

Pour les ovins et les caprins, le SV est estimé à partir des travaux Mondferent II [796,797]. La méthodologie est décrite en section « Fermentation entérique – 3A ».

Pour rappel, le projet Mondferent II a permis d'estimer, par sous-catégorie animale, les quantités de Matière Organique Digestible Ingérées (MODI) utilisées pour calculer le $CH_4$ entérique. Les sous-catégories étudiées sont les suivantes :

- Ovins : brebis laitières, brebis allaitantes, agnelles laitières, agnelles allaitantes, agneaux de race rustique, béliers.
- Caprins : chèvres laitières, chevrettes, chevreaux, boucs.

A partir des types et ingrédients des rations, des niveaux d'ingestion et des besoins en nutriments, la Matière Sèche Ingérée (MSI) et la Matière Organique de la ration (MO) sont estimées. Puis, la Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI) des fèces, correspondant au SV fèces, est obtenue de la façon suivante :

SV fèces = MONDI (kg) = MSI x MO / 1000 - MODI

Avec : MSI = Matière Sèche Ingérée (kg) ;
MO = Matière Organique (g/kg MSI) ;
MODI = Matière Organique Digestible Ingérée (kg)

Pour ce projet, l'objectif était d'être le plus possible en cohérence avec les lignes directrices du Giec 2006 (cohérentes sur ce point avec le Giec 2019), et l'hypothèse a été faite que la matière organique des urines est également émettrice de $CH_4$. Le SV urine est obtenu de la façon suivante :

SV urine (kg) = MSI x MO / 1000 x EU/EB

Avec : MSI = Matière Sèche Ingérée (kg) ;
MO = Matière Organique (g/kg MSI) ;
EU/EB : rapport entre l'énergie urinaire et l'énergie brute

Le rapport EU/EB est calculé selon l'équation suivante, provenant de Sauvant et Giger-Reverdin (2009) [794] :

EU/EB = 5,7 - 0,71 NI

Avec : NI = niveau d'ingestion

Les SV fèces et SV urine sont sommés pour obtenir le SV total.

Les SV calculés sont constants dans le temps pour les sous-catégories d'ovins et de caprins.

Pour mettre en cohérence les catégories animales étudiées dans Mondferent II avec les catégories animales de la SAA, des pondérations ont été faites à partir des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour l'année 2020 :

- Catégorie « agnelles » de la SAA : pondération entre agnelles laitières et allaitantes ;
- Catégorie « autres ovins » de la SAA : pondération entre agneaux et béliers ;
- Catégorie « autres caprins » de la SAA : pondération entre chevreaux et boucs.

Les pondérations sont appliquées de la façon suivante sur la période : utilisation de la pondération 2007 de 1990 à 2007 ; utilisation de la pondération 2020 à partir de l'année 2020 ; interpolation des données pour les années 2008-2019.

Ces facteurs par sous-catégorie sont listés plus bas (tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV »). Du fait de la variation annuelle des effectifs de ces sous-catégories animales, les SV pour les catégories agrégées « ovins » et « caprins » varient annuellement.

### Autres animaux

Pour les équins, l'équation 10.22A issue du Giec 2019 a été appliquée. Les valeurs suivantes ont été retenues pour les différents paramètres nécessaires au calcul :

**Tableau 171 : Paramètres utilisés pour l'estimation des SV des équins**

| Catégorie SAA | Paramètre | Source | Valeur |
|---|---|---|---|
| Chevaux de selle, sport, loisirs et course | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 – Western Europe | 5,65 kg SV/1000 kg animal/jour |
| | Poids vif moyen | Retraitement des données Idele [983] | 479 kg |
| Chevaux lourds | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 – Western Europe | 5,65 kg SV/1000 kg animal/jour |
| | Poids vif moyen | Retraitement des données Idele [983] | 700 kg |
| Anes, mulets, bardots | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 | 7,2 kg SV/1000 kg animal/jour |
| | Poids vif moyen | Retraitement des données William MARTIN-ROSSET [473] | 176 kg |

Les SV obtenus sont listés plus bas (tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV »).

Pour les volailles, l'estimation du SV faisait partie des objectifs visés par le projet Mondferent II. Lors de ce projet, des équations spécifiques ont été établies pour les volailles, en utilisant la digestibilité de l'énergie en première approche de la digestibilité de la matière organique. Dans les conclusions du projet, il n'est pas conseillé d'utiliser les résultats du projet car il est indiqué que la digestibilité de l'énergie ne reflète pas si bien la digestibilité de la matière organique, et les équations proposées conduiraient à une surestimation des SV. Il est de plus indiqué qu'il faudrait pouvoir recalculer ces excrétions carbonées en utilisant la digestibilité réelle de la matière organique, pour améliorer les estimations de ce paramètre.

Ainsi, le choix a été fait ici d'appliquer plutôt l'équation 10.22A issue du Giec 2019. Les poids vifs moyens pour chacune des sous catégories sont issus de différentes sources de données :

- les données d'abattages issues des statistiques Agreste [410] qui fournissent des poids moyens à l'abattage en kg carcasse/tête ;
- les données Itavi de performances techniques [1255] [1256] [1257] qui fournissent des poids de poules de réforme et des poids vif à l'enlèvement ;
- le rapport final Itavi/Ademe pour les poulets de chair [801] qui fournit des poids vifs finaux (kg/animal) pour les poulets export et lourd ;
- les données Corpen 2006 et 2012 [504] utilisées pour estimer l'excrétion azotée en volailles , qui fournissent des poids moyens à l'abattage.

Pour les poules pondeuses, on considère que le poids à la réforme correspond au poids vif moyen sur la durée d'élevage. Pour les autres productions, le poids vif moyen est estimé en divisant le poids à l'enlèvement par deux. FC

Les valeurs données dans le tableau suivant pour les poids présentent la plage de valeurs 1990-2023 :

**Tableau 172 : Paramètres utilisés pour l'estimation des SV des volailles**

| Catégorie SAA | Paramètre | Source | Valeur |
|---|---|---|---|
| Poules pondeuses d'œufs à couver | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 – Western Europe | 8,6 kg SV/1000 kg animal/jour |
| | Poids vif moyen | Hypothèse d'équivalence avec les poules pondeuses d'œufs de consommation | 1,99 kg – 1,82 kg |
| Poules pondeuses d'œufs de consommation | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 – Western Europe | 8,6 kg SV/1000 kg animal/jour |
| | Poids vif moyen | 2016 – 2019 : poids des poules de réforme [1255]<br>Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410] | 1,99 kg – 1,82 kg |
| Poulettes | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 – Western Europe | 5,3 kg SV/1000 kg animal/jour |
| | Poids vif moyen | 1990-2006 : poids moyens à l'abattage de l'année 2006 [504] divisés par deux ;<br>2012-année en cours : poids moyens à l'abattage de l'année 2012 [504] divisés par deux ;<br>2007-2011 : interpolation linéaire | 0,78 kg – 0,92 kg |
| Poulets de chair (y compris coqs et coquelets) | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 – Western Europe | 16,1 kg SV/1000 kg animal/jour |
| | Poids vif moyen | 2016 – 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1256] [1257] et poids vifs finaux [801] divisés par deux.<br>Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410] | 0,90 kg – 1,11 kg |
| Canards à gaver | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 | 7,4 kg SV/1000 kg animal/jour |
| | Poids vif moyen | 2019 – 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1258] divisés par deux.<br>Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410] | 1,99 kg – 1,88 kg |
| Canards à rôtir | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 | 7,4 kg SV/1000 kg animal/jour |
| | Poids vif moyen | 2016 – 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1256] divisés par deux.<br>Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410] | 1,93 kg – 2,05 kg |
| Dindes et dindons (au 1er octobre) | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 | 10,3 kg SV/1000 kg animal/jour |
| | Poids vif moyen | 2016 – 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1256] divisés par deux.<br>Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410] | 4,19 kg – 5,89 kg |
| Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver) | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 – Total « poultry » - Western Europe | 12,3 kg SV/1000 kg animal/jour |
| | Poids vif moyen | 1990-2006 : poids moyens à l'abattage de l'année 2006 [504] divisés par deux ;<br>2012-année en cours : poids moyens à l'abattage de l'année 2012 [504] divisés par deux ;<br>2007-2011 : interpolation linéaire | 3,51 kg – 3,72 kg |
| Pintades | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 – Total « poultry » - Western Europe | 12,3 kg SV/1000 kg animal/jour |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Poids vif moyen | 2016 – 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1256] divisés par deux.<br>Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410] | 0,82 kg – 0,91 kg |
| Cailles d'élevage | Taux SV (VS rate) | Giec 2019 – Total « poultry » - Western Europe | 12,3 kg SV/1000 kg animal/jour |
| | Poids vif moyen | 1990-2006 : poids moyens à l'abattage de l'année 2006 [504] divisés par deux ;<br>2012-année en cours : poids moyens à l'abattage de l'année 2012 [504] divisés par deux ;<br>2007-2011 : interpolation linéaire | 0,14 kg – 0,13 kg |

Les SV ainsi estimés varient dans le temps par sous-catégorie animale, les plages 1990-2023 sont présentées dans le tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV » ci-dessous.

Pour les lapines et les cervidés d'élevage, le paramètre SV prend les valeurs par défaut fournies par le Giec 2019 [1229].

**Tableau 173 : Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV**

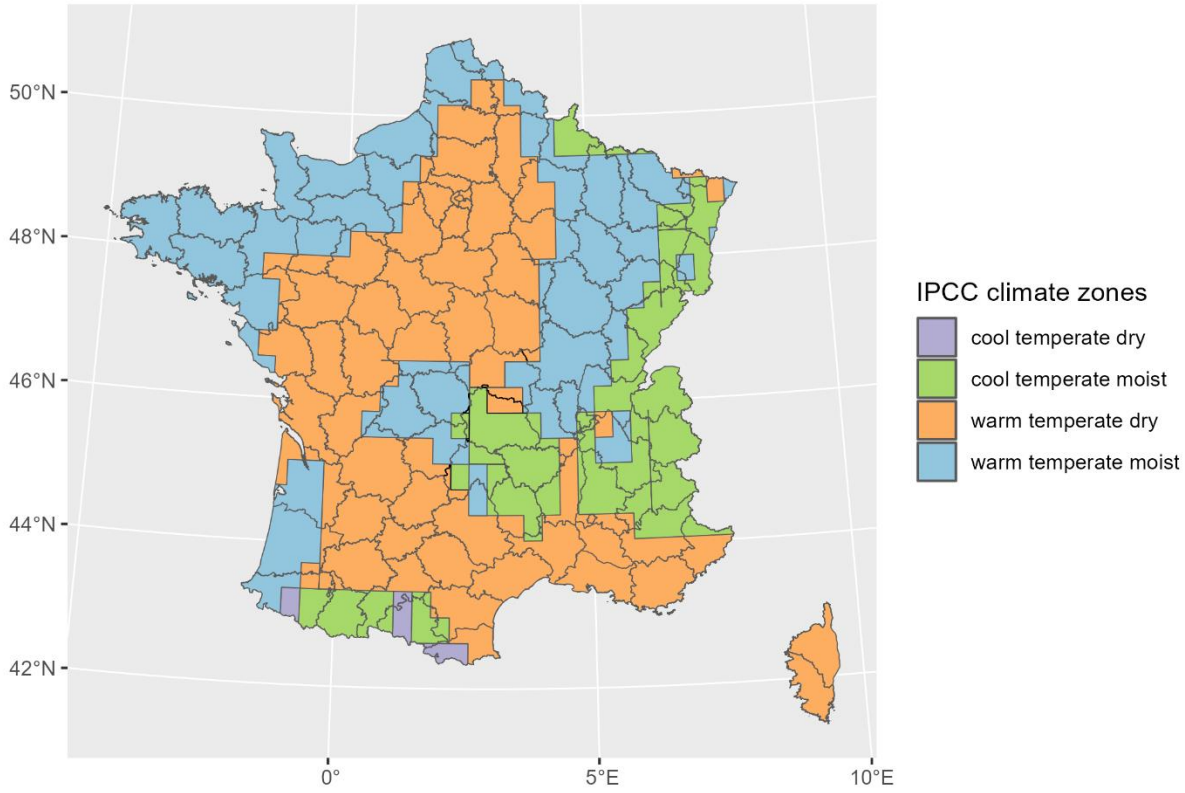
| Catégorie animale | | SV (kg SV/jour) | Provenance du SV |
|---|---|---|---|
| Vaches laitières | | 4,62 - 6,5 | Eugene, et al (2019) |
| Autres bovins | Vaches nourrices | 2,86 | Mondferent I |
| | Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans | 2,64 | Mondferent I |
| | Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans | 2,18 | Mondferent I |
| | Génisses de boucherie de plus de 2 ans | 2,55 | Mondferent I |
| | Mâles de type laitier de plus de 2 ans | 2,56 | Mondferent I |
| | Mâles de type viande de plus de 2 ans | 2,56 | Mondferent I |
| | Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans | 1,89 | Mondferent I |
| | Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans | 1,81 | Mondferent I |
| | Génisses de boucherie de 1 à 2 ans | 2,07 | Mondferent I |
| | Mâles de type laitier de 1 à 2 ans | 2,31 | Mondferent I |
| | Mâles de type viande de 1 à 2 ans | 2,73 | Mondferent I |
| | Veaux de boucherie | 0,85 | Mondferent I |
| | Autres femelles de moins de 1 an | 0,82 | Mondferent I |
| | Autres mâles de moins de 1 an | 0,87 | Mondferent I |
| Porcins | Porcelets non sevrés (<8kg) | 0,00 | Mondferent II |
| | Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg) | 0,06 - 0,08 | Mondferent II |
| | Verrats de 50 kg et plus | 0,38 - 0,4 | Mondferent II |
| | Porcs à l'engrais (>30kg) | 0,21 - 0,25 | Mondferent II |
| Truies de 50 kg et plus | | | 0,38 - 0,4 |
| Caprins | Chevrettes | 0,42 | Mondferent II |
| | Chèvres (femelles ayant mis bas) | 1,15 | Mondferent II |
| | Autres caprins (y compris boucs) | 0,46 - 0,54 | Mondferent II |
| Ovins | Agnelles | 0,39 - 0,4 | Mondferent II |
| | Brebis mères allaitantes (y c. réforme) | 0,63 | Mondferent II |
| | Brebis mères laitières (y c. réforme) | 1,04 | Mondferent II |
| | Autres ovins (y compris béliers) | 0,22 - 0,24 | Mondferent II |
| Chevaux | Chevaux de selle, sport, loisirs et course | 2,71 | Giec 2019 |
| | Chevaux lourds | 3,96 | Giec 2019 |
| Mules et ânes | Anes, mulets, bardots | 1,28 | Giec 2019 |
| Volailles | Poules pondeuses d'œufs à couver | 0,017 - 0,016 | Giec 2019 |
| | Poules pondeuses d'œufs de consommation | 0,017 - 0,016 | Giec 2019 |
| | Poulettes | 0,004 - 0,005 | Giec 2019 |
| | Poulets de chair (y compris coqs et coquelets) | 0,015 - 0,018 | Giec 2019 |
| | Canards à gaver | 0,015 - 0,014 | Giec 2019 |
| | Canards à rôtir | 0,014 - 0,015 | Giec 2019 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Dindes et dindons (au 1er octobre) | 0,043 - 0,061 | Giec 2019 |
| | Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver) | 0,043 - 0,046 | Giec 2019 |
| | Pintades | 0,01 - 0,011 | Giec 2019 |
| | Cailles d'élevage | 0,0017 - 0,0016 | Giec 2019 |
| Autres | Lapines reproductrices | 0,10 | Giec 2019 |
| | Cervidés d'élevage | 0,39 | Giec 2019 |

## Zones climatiques

Dans le raffinement 2019 aux lignes directrices du Giec 2006, plusieurs facteurs d'émission sont distingués en fonction de la zone climatique dans laquelle ils se situent. Les zones climatiques sont définies par la carte des climats du Giec (Chapitre 3, Figure 3A.5.1, p 3.47 [1229]) et selon un schéma de classification (Chapitre 3, Figure 3A.5.2 p 3.48) prenant en compte plusieurs variables dont notamment les précipitations annuelles moyennes et l'évapotranspiration. Si les variables d'entrée de ce système de classification existent à un niveau plus fin au niveau français, les données ne sont pas accessibles gratuitement aussi le choix a été fait de retenir la carte des climats proposée par le Giec [1229] (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cette carte permet de distinguer les climats « humides » (moist climates) et « secs » (dry climates) utiles pour décliner le facteur d'émission du $N_2O$ à l'épandage des engrais azotés notamment. Elle permet également une répartition supplémentaire en lien avec les températures annuelles moyennes, utile pour décliner les facteurs d'émission de $CH_4$ du stockage des déjections. Une carte interactive est disponible à l'adresse suivante pour l'ensemble des pays du monde : https://abc-map.users.earthengine.app/view/next-ipcc-climate-zones

**Figure 155. Carte des climats Giec 2019 centrée sur la France**




Source: Citepa d'après IPCC 2019, Refinement to the 2006 IPCC Guidelines

Les climats humides (moist climates) se rencontrent dans les zones tempérées et boréales où le rapport entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration potentielle est supérieur à 1, et dans les zones tropicales où les précipitations annuelles sont supérieures à 1 000 mm.

Les climats secs (dry climates) se rencontrent dans les zones tempérées et boréales où le rapport entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration potentielle est inférieur à 1, et dans les zones tropicales où les précipitations annuelles sont inférieures à 1 000 mm.

Les zones « warm temperate » correspondent à des zones où la température annuelle moyenne est supérieure à 10°C. Les zones « cool temperate » correspondent à des zones où la température annuelle moyenne est supérieure à 0°C mais inférieure ou égale à 10°C.

Sur la base de cette carte une estimation des surfaces pour chacun des quatre climats a été réalisée au niveau départemental et est reportée au niveau régional ci-dessous. Pour la métropole l'analyse a été réalisée par intersection de couches de données spatialisées (traitement SIG). Ainsi, on estime que 51.8 % du territoire métropolitain se situe en climat humide et 48.2 % en climat sec selon la méthodologie du Giec (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

**Tableau 174. Répartition des surfaces en hectares selon la zone climatique en Métropole**

| ha | Surfaces en climat "cool temperate dry" | Surfaces en climat "cool temperate moist" | Surfaces en climat "warm temperate dry" | Surfaces en climat "warm temperate moist" |
|---|---|---|---|---|
| Ile-de-France | 0 | 0 | 12 065 | 0 |
| Champagne-Ardenne | 0 | 3 220 | 7 908 | 14 604 |
| Picardie | 0 | 0 | 15 096 | 4 422 |
| Haute-Normandie | 0 | 0 | 1 429 | 10 940 |
| Centre | 0 | 0 | 37 026 | 2 472 |
| Basse-Normandie | 0 | 0 | 384 | 17 394 |
| Bourgogne | 0 | 2 | 13 233 | 18 470 |
| Nord-Pas-de-Calais | 0 | 0 | 2 993 | 9 489 |
| Lorraine | 0 | 5 396 | 449 | 17 839 |
| Alsace | 0 | 5 653 | 938 | 1 729 |
| Franche-Comté | 0 | 9 426 | 0 | 6 852 |
| Pays de la Loire | 0 | 0 | 20 982 | 11 404 |
| Bretagne | 0 | 0 | 1 074 | 26 395 |
| Poitou-Charentes | 1 | 1 | 24 981 | 930 |
| Aquitaine | 1 318 | 2 278 | 21 559 | 16 573 |
| Midi-Pyrénées | 2 337 | 10 181 | 31 907 | 1 382 |
| Limousin | 5 | 869 | 3 095 | 13 077 |
| Rhône-Alpes | 0 | 27 692 | 6 368 | 10 857 |
| Auvergne | 0 | 15 011 | 6 634 | 4 495 |
| Languedoc-Roussillon | 1 599 | 5 414 | 20 785 | 0 |
| Provence-Alpes-Côte d'Azur | 0 | 9 923 | 21 946 | 0 |
| Corse | 0 | 0 | 8 749 | 0 |
| France Métropolitaine | 5 260 | 95 066 | 259 602 | 189 323 |

**Tableau 175 : Répartition des surfaces en pourcentages selon la zone climatique en Métropole**

| % | Surfaces en climat "cool temperate dry" | Surfaces en climat "cool temperate moist" | Surfaces en climat "warm temperate dry" | Surfaces en climat "warm temperate moist" |
|---|---|---|---|---|
| Ile-de-France | 0.0% | 0.0% | 100.0% | 0.0% |
| Champagne-Ardenne | 0.0% | 12.5% | 30.7% | 56.8% |
| Picardie | 0.0% | 0.0% | 77.3% | 22.7% |
| Haute-Normandie | 0.0% | 0.0% | 11.6% | 88.4% |
| Centre | 0.0% | 0.0% | 93.7% | 6.3% |
| Basse-Normandie | 0.0% | 0.0% | 2.2% | 97.8% |
| Bourgogne | 0.0% | 0.0% | 41.7% | 58.3% |
| Nord-Pas-de-Calais | 0.0% | 0.0% | 24.0% | 76.0% |
| Lorraine | 0.0% | 22.8% | 1.9% | 75.3% |
| Alsace | 0.0% | 67.9% | 11.3% | 20.8% |
| Franche-Comté | 0.0% | 57.9% | 0.0% | 42.1% |
| Pays de la Loire | 0.0% | 0.0% | 64.8% | 35.2% |
| Bretagne | 0.0% | 0.0% | 3.9% | 96.1% |
| Poitou-Charentes | 0.0% | 0.0% | 96.4% | 3.6% |
| Aquitaine | 3.2% | 5.5% | 51.7% | 39.7% |
| Midi-Pyrénées | 5.1% | 22.2% | 69.7% | 3.0% |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Limousin | 0.0% | 5.1% | 18.2% | 76.7% |
| Rhône-Alpes | 0.0% | 61.7% | 14.2% | 24.2% |
| Auvergne | 0.0% | 57.4% | 25.4% | 17.2% |
| Languedoc-Roussillon | 5.8% | 19.5% | 74.8% | 0.0% |
| Provence-Alpes-Côte d'Azur | 0.0% | 31.1% | 68.9% | 0.0% |
| Corse | 0.0% | 0.0% | 100.0% | 0.0% |
| France Métropolitaine | 1.0% | 17.3% | 47.3% | 34.5% |

Pour les territoires d'Outre-mer, une simple lecture graphique a été réalisée. Les climats rencontrés sont les suivants :

- cool temperate moist (cf. définition plus haut),
- tropical wet (température annuelle moyenne supérieure à 18°C, précipitations annuelles moyennes supérieures à 2000 mm),
- tropical moist (température annuelle moyenne supérieure à 18°C, précipitations annuelles moyennes supérieures à 1000 mm et inférieure ou égale à 2000 mm).

**Tableau 176. Répartition des surfaces en pourcentages selon la zone climatique en Outre-Mer**

| % | Surfaces en climat "cool temperate moist" | Surfaces en climat "tropical wet " | Surfaces en climat "tropical moist" |
|---|---|---|---|
| Guadeloupe | - | 100 % | - |
| Guyane | - | 100 % | - |
| Martinique | - | 100 % | - |
| La Réunion | - | - | 100 % |
| Mayotte | - | - | 100 % |
| Saint-Martin | - | - | 100 % |
| Nouvelle-Calédonie | - | - | 100 % |
| Polynésie française | - | - | 100 % |
| Saint Pierre et Miquelon | 100 % | - | - |
| Wallis et Futuna | - | 100 % | - |

## Clé de répartition infranationale des apports d'azote minéraux

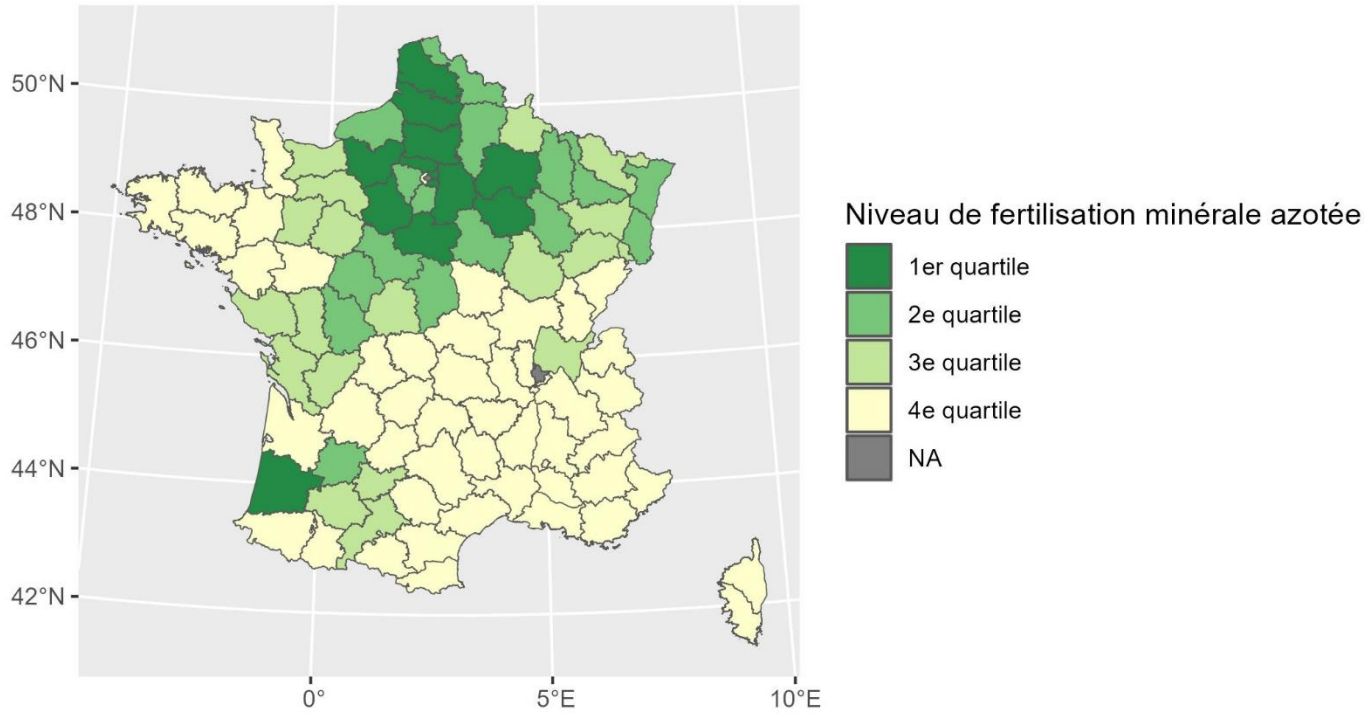
Les apports d'engrais minéraux par département ont été estimés afin de pouvoir décliner le facteur d'émission du $N_2O$ (FE1) selon la zone climatique du Giec (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Toutefois, le suivi spatialisé de l'azote pouvant s'avérer utile à d'autres c alculs d'émission dans le futur ($NH_3$ par exemple) la méthodologie de répartition des apports régionaux d'engrais minéraux est détaillée dans cette section « Agriculture | Introduction ».

Le service statistique du Ministère de l'Agriculture (SSP) collecte ponctuellement les données sur la fertilisation en France à partir des enquêtes pratiques culturales [485]. Plusieurs enquêtes ont été conduites, sur différents périmètres :

- Grandes cultures : 2001, 2006, 2011, 2017, 2021 ;
- Prairies : 2001, 2006, 2011, 2017 ;
- Viticulture : 2006, 2013.

Ces enquêtes fournissent des informations sur les niveaux de fertilisation par type de culture à l'échelle régionale. Lorsque les données sont manquantes, la référence de la dernière année disponible est utilisée. Sur la base des cultures pour lesquelles un niveau de fertilisation est renseigné une correspondance est réalisée pour lier ces quantités de fertilisation aux surfaces déclarées dans la statistique agricole annuelle (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

**Figure 156. Estimation de la répartition de la fertilisation minérale azotée en 2023. Source : Citepa d'après enquêtes pratiques culturales 2021, SAA**




En croisant les informations sur les climats à l'échelle départementale (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et l'estimation de la r épartition de la fertilisation minérale (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), il est possible d'estimer des apports annuels moyen au département par climat. Pour une région r, un département d, une culture c l'estimation des apports annuels d'engrais minéraux par département ($\widehat{F_{SN}}_d$) est ainsi réalisée selon l'équation suivante :

$$\widehat{F_{SN}}_d = \sum_c \overline{A_{SN}}_{r,c} \,.\, S_{d\in r,\,c}$$

Avec : $S_{d\in r,c}$ les superficies en culture c ;
$\bar{A}_{r,c}$ les apports régionaux moyens sur la culture c

Ce calcul fournit des valeurs en tonnages d'azote toutefois c'est une information qui est disponible de façon plus fiable au niveau métropolitain grâce aux livraisons d'engrais issus de l'UNIFA. Aussi cette estimation permet d'établir une clé de répartition des consommations nationales (C), estimées à partir des livraisons nationales, pour estimer les apports : $F_{SN_d} = C \times \frac{\widehat{F_{SN}}_d}{\sum_d \widehat{F_{SN}}_d}$.

**Tableau 177. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2021**

| Région | Blé tendre | Blé dur | Orge de printemps | Orge d'hiver | Avoine de printemps | Avoine d'hiver | Maïs grain | Sorgho | Triticale | Mélange céréales |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Alsace | 169 | 192 | 118 | 130 | 65 | 73 | 192 | 94 | 94 | 120 |
| Aquitaine | 171 | 192 | 118 | 111 | 65 | 73 | 200 | 133 | 99 | 123 |
| Auvergne | 144 | 192 | 118 | 102 | 65 | 73 | 165 | 94 | 86 | 112 |
| Basse-Normandie | 160 | 192 | 99 | 119 | 72 | 108 | 143 | 94 | 107 | 121 |
| Bourgogne | 160 | 192 | 111 | 139 | 65 | 72 | 145 | 94 | 96 | 119 |
| Bretagne | 134 | 192 | 56 | 119 | 65 | 64 | 25 | 94 | 96 | 103 |
| Centre | 177 | 223 | 121 | 130 | 65 | 83 | 155 | 88 | 107 | 127 |
| Champagne-Ardenne | 195 | 192 | 141 | 151 | 86 | 73 | 136 | 94 | 98 | 133 |
| Franche-Comté | 162 | 192 | 118 | 130 | 65 | 73 | 143 | 94 | 103 | 119 |
| Guadeloupe | 166 | 192 | 118 | 130 | 65 | 73 | 143 | 94 | 94 | 120 |
| Haute-Normandie | 185 | 192 | 95 | 144 | 65 | 73 | 143 | 94 | 94 | 121 |
| Île-de-France | 173 | 192 | 115 | 140 | 65 | 73 | 135 | 94 | 94 | 122 |
| Languedoc-Roussillon | 166 | 147 | 118 | 105 | 65 | 73 | 143 | 94 | 61 | 110 |
| Limousin | 166 | 192 | 118 | 130 | 65 | 73 | 143 | 94 | 85 | 120 |
| Lorraine | 158 | 192 | 113 | 139 | 67 | 73 | 140 | 94 | 113 | 119 |
| Midi-Pyrénées | 140 | 193 | 118 | 90 | 65 | 56 | 179 | 96 | 79 | 108 |
| Nord-Pas-de-Calais | 181 | 192 | 119 | 149 | 65 | 73 | 113 | 94 | 94 | 125 |
| Pays de la Loire | 141 | 205 | 62 | 116 | 65 | 70 | 90 | 94 | 99 | 107 |
| Picardie | 183 | 192 | 119 | 150 | 95 | 73 | 129 | 94 | 94 | 129 |
| Poitou-Charentes | 161 | 199 | 92 | 132 | 65 | 55 | 146 | 94 | 95 | 114 |
| Provence-Alpes-Côte d'Azur | 166 | 138 | 118 | 130 | 65 | 73 | 143 | 94 | 94 | 112 |
| Réunion | 166 | 192 | 118 | 130 | 65 | 73 | 143 | 94 | 94 | 120 |
| Rhône-Alpes | 136 | 178 | 118 | 99 | 65 | 73 | 165 | 94 | 86 | 109 |
| France | 166 | 192 | 118 | 130 | 65 | 73 | 143 | 94 | 94 | 120 |

**Tableau 178. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2021 et en 2017 pour les prairies**

| Région | Colza | Tournesol | Soja | Lin oléagineux | Féverole | Pois protéagineux | Betterave sucrière | Pomme de terre | Lin fibre | Maïs fourrage | Prairie temporaire | Prairie permanente |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Alsace | 156 | 44 | 2 | 69 | 1 | 1 | 94 | 145 | 30 | 72 | 42 | 25 |
| Aquitaine | 156 | 67 | 4 | 69 | 1 | 1 | 94 | 152 | 30 | 135 | 37 | 12 |
| Auvergne | 143 | 36 | 3 | 69 | 1 | 1 | 94 | 145 | 30 | 80 | 24 | 11 |
| Basse-Normandie | 144 | 44 | 3 | 69 | 1 | 1 | 94 | 145 | 27 | 65 | 42 | 22 |
| Bourgogne | 169 | 43 | 3 | 85 | 1 | 2 | 94 | 145 | 30 | 122 | 24 | 4 |
| Bretagne | 84 | 44 | 3 | 69 | 1 | 1 | 94 | 65 | 30 | 36 | 59 | 20 |
| Centre | 158 | 47 | 1 | 86 | 2 | 1 | 104 | 137 | 30 | 122 | 36 | 9 |
| Champagne-Ardenne | 166 | 50 | 2 | 69 | 1 | 2 | 83 | 145 | 30 | 122 | 42 | 18 |
| Franche-Comté | 165 | 44 | 1 | 69 | 1 | 1 | 94 | 145 | 30 | 143 | 28 | 17 |
| Guadeloupe | 156 | 44 | 3 | 69 | 1 | 1 | 94 | 145 | 30 | 72 | 42 | 20 |
| Haute-Normandie | 173 | 44 | 3 | 69 | 1 | 0 | 86 | 128 | 33 | 87 | 117 | 55 |
| Île-de-France | 179 | 44 | 3 | 69 | 1 | 1 | 97 | 141 | 30 | 72 | 42 | 20 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Languedoc-Roussillon | 164 | 17 | 3 | 69 | 1 | 1 | 94 | 145 | 30 | 72 | 39 | 20 |
| Limousin | 156 | 44 | 3 | 69 | 1 | 1 | 94 | 145 | 30 | 64 | 32 | 10 |
| Lorraine | 163 | 57 | 3 | 69 | 1 | 3 | 94 | 145 | 30 | 115 | 42 | 38 |
| Midi-Pyrénées | 157 | 42 | 2 | 12 | 1 | 1 | 94 | 145 | 30 | 85 | 40 | 12 |
| Nord-Pas-de-Calais | 173 | 44 | 3 | 69 | 1 | 6 | 91 | 159 | 28 | 99 | 42 | 77 |
| Pays de la Loire | 119 | 31 | 3 | 53 | 1 | 3 | 94 | 145 | 30 | 47 | 51 | 29 |
| Picardie | 171 | 44 | 3 | 69 | 1 | 0 | 102 | 156 | 24 | 107 | 42 | 24 |
| Poitou-Charentes | 158 | 41 | 2 | 59 | 1 | 0 | 94 | 116 | 30 | 94 | 42 | 13 |
| Provence-Alpes-Côte d'Azur | 156 | 44 | 3 | 69 | 1 | 1 | 94 | 145 | 30 | 72 | 42 | 20 |
| Réunion | 156 | 44 | 3 | 69 | 1 | 1 | 94 | 145 | 30 | 72 | 42 | 20 |
| Rhône-Alpes | 145 | 45 | 4 | 69 | 1 | 1 | 94 | 145 | 30 | 117 | 37 | 21 |
| France | 156 | 44 | 3 | 69 | 1 | 1 | 94 | 145 | 30 | 72 | 42 | 20 |

**Figure 157 : Evolution des apports moyens en azote minéral sur blé tendre au niveau métropole (incluant les parcelles non fertilisées)**

## Surfaces, productions et rendements des cultures

Les surfaces en culture et les productions végétales associées utilisées dans le cadre de l'inventaire national sont tirées de la SAA. Cependant, elles n'interviennent que très peu dans le calcul des émissions de l'agriculture dans la mesure où les émissions des sols cultivés sont en grande partie estimées à partir des intrants. Elles n'apparaissent que dans le calcul associé aux résidus de culture mais permettent aussi d'appréhender le type de culture et leur évolution en France.

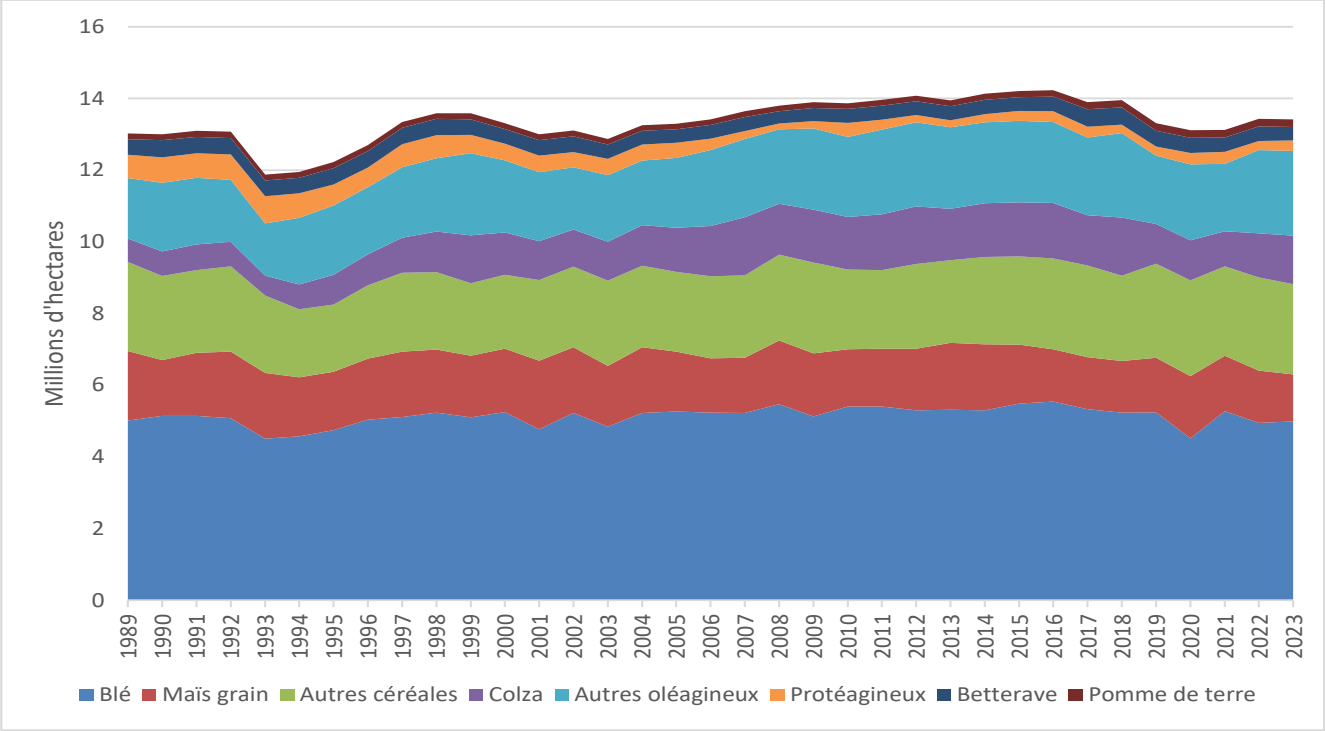
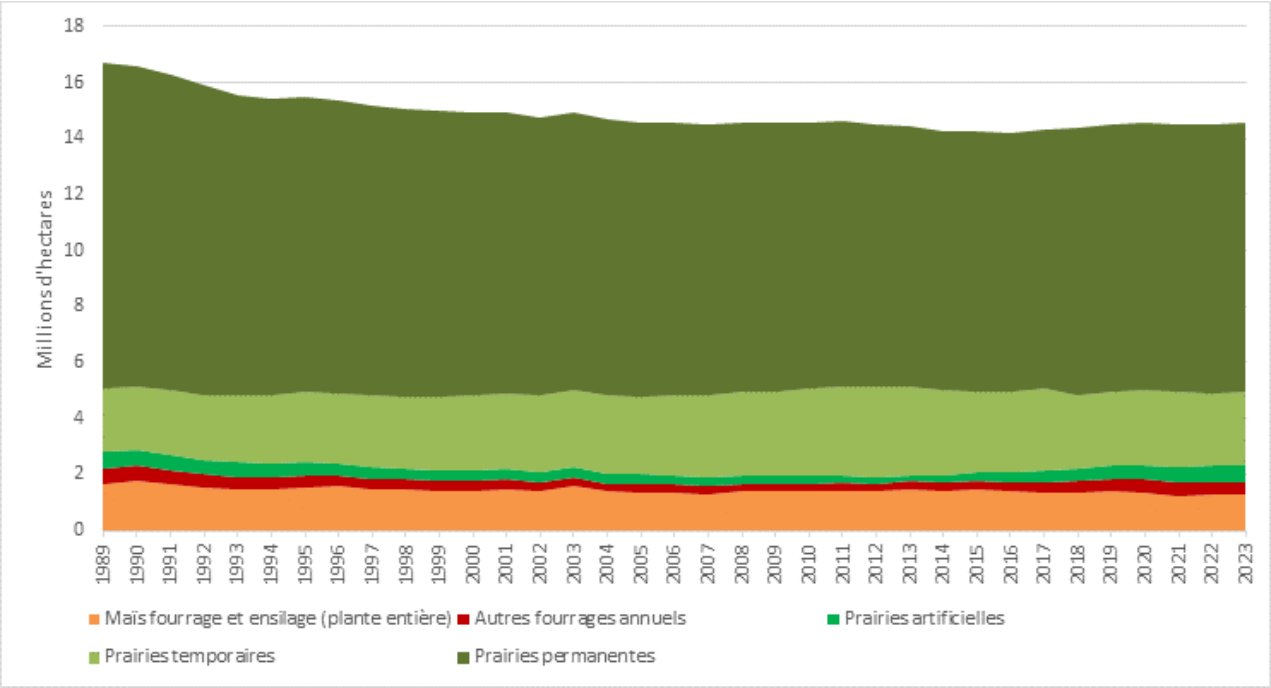



**Figure 158 : Évolution des superficies cultivées des principales cultures en France métropolitaine – Source : Agreste - SAA**

**Figure 159 : Évolution des superficies fourragères en France métropolitaine – Source : Agreste – SAA**




Pour les DROM (Guadeloupe, Martinique, Guyane, La Réunion et Mayotte), le détail des surfaces par culture n'est disponible qu'à partir de l'année 2000. Les données de l'année 2000 sont reportées pour la période 1990-1999.

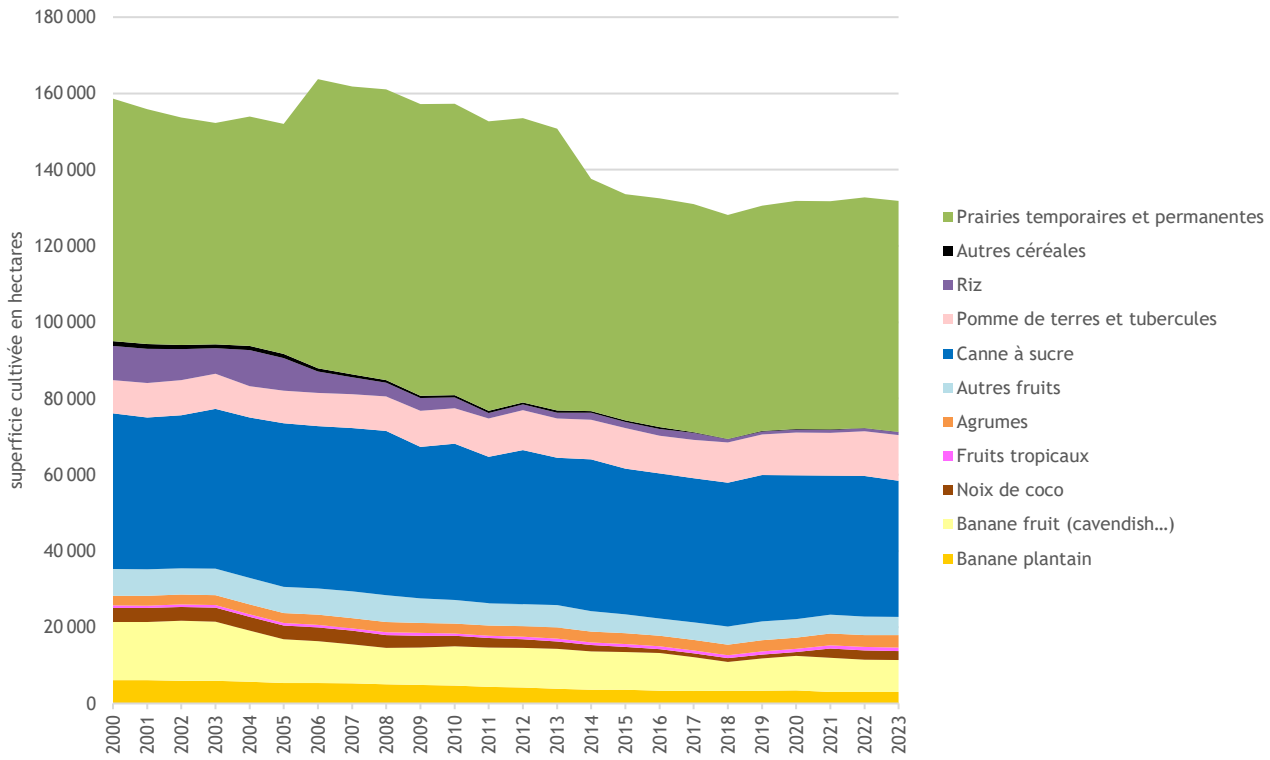



**Figure 160 : Évolution des surfaces de culture dans les DROM**

Pour les pays et territoires d'outre-mer (PTOM), des catégories plus agrégées de surfaces sont estimées à partir de différentes sources telles que les rapports annuels IEOM [400 ; 401] les recensements agricoles [1260 ; 1261] ou encore des plans territoriaux issus des DRAAF et chambres d'agricultures locales [1262 ; 1263]. Elles sont considérées relativement stables sur la période, faute de données disponibles. L'essentiel des surfaces est constitué de prairies (83 %) et de cocoteraies (14 %), cette moyenne masquant de fortes disparités entre territoires du fait de tailles variables et de contextes locaux très différents. Aussi la majorité des surfaces en prairies des PTOM est située en Nouvelle-Calédonie, tandis que les surfaces de cocoteraies sont majoritairement localisées en Polynésie française.

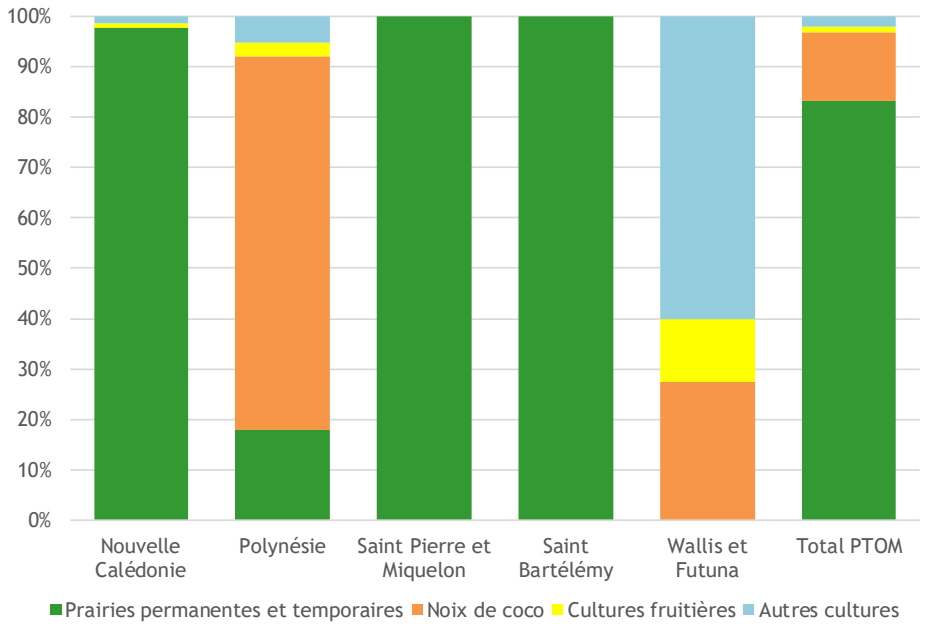



**Figure 161 : Répartition estimée des superficies cultivées dans les PTOM en 2023 (en hectares)**

## Evolution des surfaces et productions

Les surfaces cultivées restent relativement stables sur la période, avec néanmoins, dans les années 1990, un impact visible de la politique agricole commune (PAC). En 1992, les règles de la PAC ont été modifiées en profondeur pour rapprocher les prix de marché européen de ceux du marché mondial. Ainsi, les prix garantis aux agriculteurs ont été progressivement abandonnés. Pour compenser cette réduction, des aides directes ont été attribuées au producteur, non pas proportionnellement aux quantités produites, mais aux surfaces cultivées. Pour limiter les stocks, ces mesures ont été accompagnées de contraintes de réduction de la production, sous la forme de la mise en jachère obligatoire de 15 % des surfaces en céréales, oléagineux et protéagineux. Le régime d'aides aux cultures a été ensuite réformé à plusieurs reprises et a notamment conduit à la disparition de la quasi-totalité des aides qui avaient été maintenues couplées en France et à l'abandon de cette obligation de geler les terres à partir de 2009. En France, certains paiements couplés demeurent afin de soutenir des productions ou types d'agriculture qui risqueraient d'être abandonnés en cas de découplage total : il s'agit par exemple de versements d'aides pour la production de plantes riches en protéines soumises à des critères d'éligibilité spécifique à chacune des productions.

Les rendements des cultures sont eux assez variables d'une année sur l'autre, ce qui s'explique notamment par les conditions météorologiques, comme en 2003 où la sécheresse estivale a provoqué une baisse importante des rendements, ou encore l'année 2016 qui a vu un effondrement de la récolte de blé principalement du fait d'un manque d'ensoleillement et des pluies du début de l'été. En 2020, la production recule à nouveau. Les principales raisons identifiées sont les précipitations automnales qui ont rendu les conditions de semis en céréales difficiles voire impossibles entrainant un étalement inédit des dates de semis, et la sécheresse record qui a ensuite sévi au printemps. Pour l'année 2021, les surfaces cultivées en céréales retrouvent leurs niveaux de 2019 avec des rendements toutefois affectés par des pluies durant la moisson. Les surfaces en oléagineux sont en forte diminution avec un recul marqué des surfaces en colza depuis plusieurs années en lien notamment avec les effets du changement climatique (aléas climatiques plus fréquents et progression des maladies et ravageurs). En 2022, les récoltes céréalières baissent nettement en France sous l'effet d'une réduction de la sole des cultures d'hiver et du rendement des cultures de printemps (chaleur et déficit de précipitation). Les récoltes d'oléagineux poursuivent leur hausse pour la deuxième année d'affilée, principalement du fait du colza (recul pour le tournesol et le soja), en lien avec la forte hausse des prix induite par le conflit russo-ukrainien (l'Ukraine étant le premier exportateur mondial de tournesol avant le conflit). Les récoltes des autres grandes cultures (betterave et pomme de terre) sont réduites sous l'effet d'une baisse des rendements affectés par la sécheresse. En 2023, les récoltes céréalières progressent par rapport à 2022 sous l'effet de la hausse des rendements, la sole s'étant réduite principalement en raison du recul des surfaces de cultures de printemps. Les surfaces d'oléagineux augmentent, principalement pour le colza, qui a bénéficié en partie de la réduction de la sole de céréales. Néanmoins, la croissance observée sur les récoltes d'oléagineux repose plutôt sur la production de tournesol et soja, le rendement du colza étant en baisse.

# 5.2 Fermentation entérique (3A)

## 5.2.1 Caractéristiques de la catégorie

La fermentation entérique est un processus de fermentation microbienne au sein de l'appareil digestif des animaux, menant à l'émission de méthane. Cette production de méthane est beaucoup plus importante chez les ruminants qui mettent à profit cette activité microbienne pour dégrader et assimiler efficacement les fourrages. Les émissions de méthane des animaux d'élevage dépendent très fortement de leur niveau de production et de la digestibilité de leur alimentation.

C'est une source très importante de $CH_4$ en France en raison du cheptel bovin très présent sur une grande partie du territoire. En effet les bovins engendrent la majeure partie des émissions avec 90% des émissions en 2022 (dont environ un tiers pour les vaches laitières) devant celui des ovins et celui des caprins (8 %).

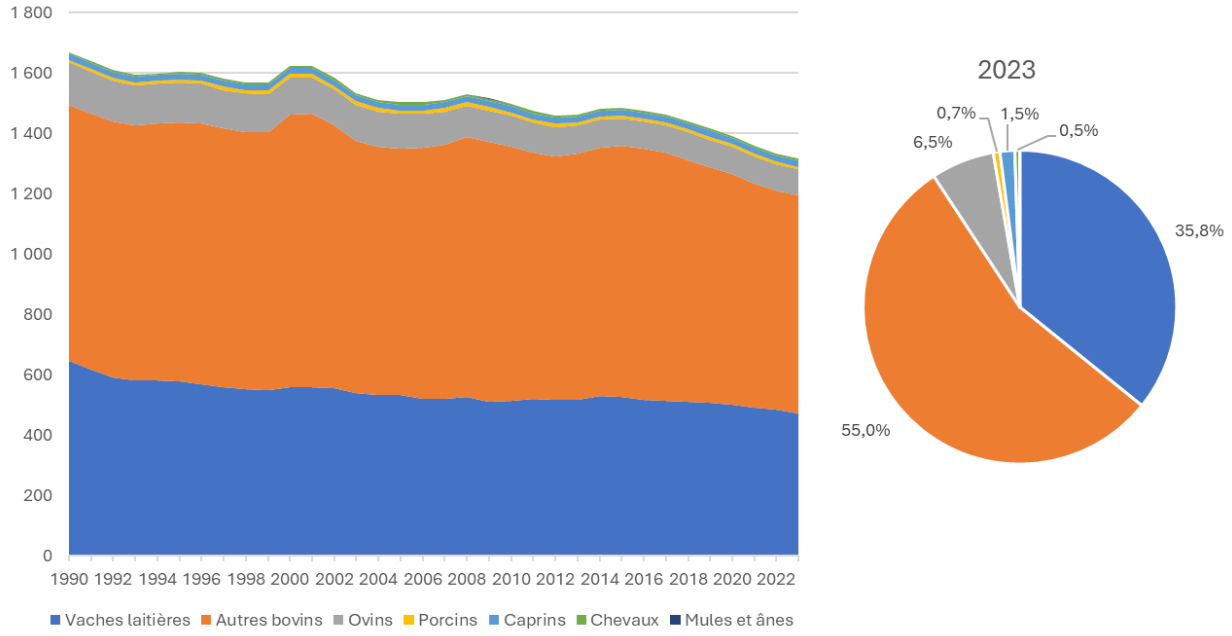



**Figure 162 : Evolution et répartition des émissions de $CH_4$ (kt) de la fermentation entérique par catégorie animale (Périmètre UE)**

Les émissions de la fermentation entérique ont diminué de 21 % sur la période 1990-2023, ces réductions se retrouvant principalement au niveau des cheptels bovins : -27 % pour les émissions des vaches laitières et - 15 % pour les émissions des autres bovins. Cette baisse des émissions s'explique par la diminution des cheptels bovins (voir plus haut), qui contrebalance la hausse des facteurs d'émission constatée sur la période.

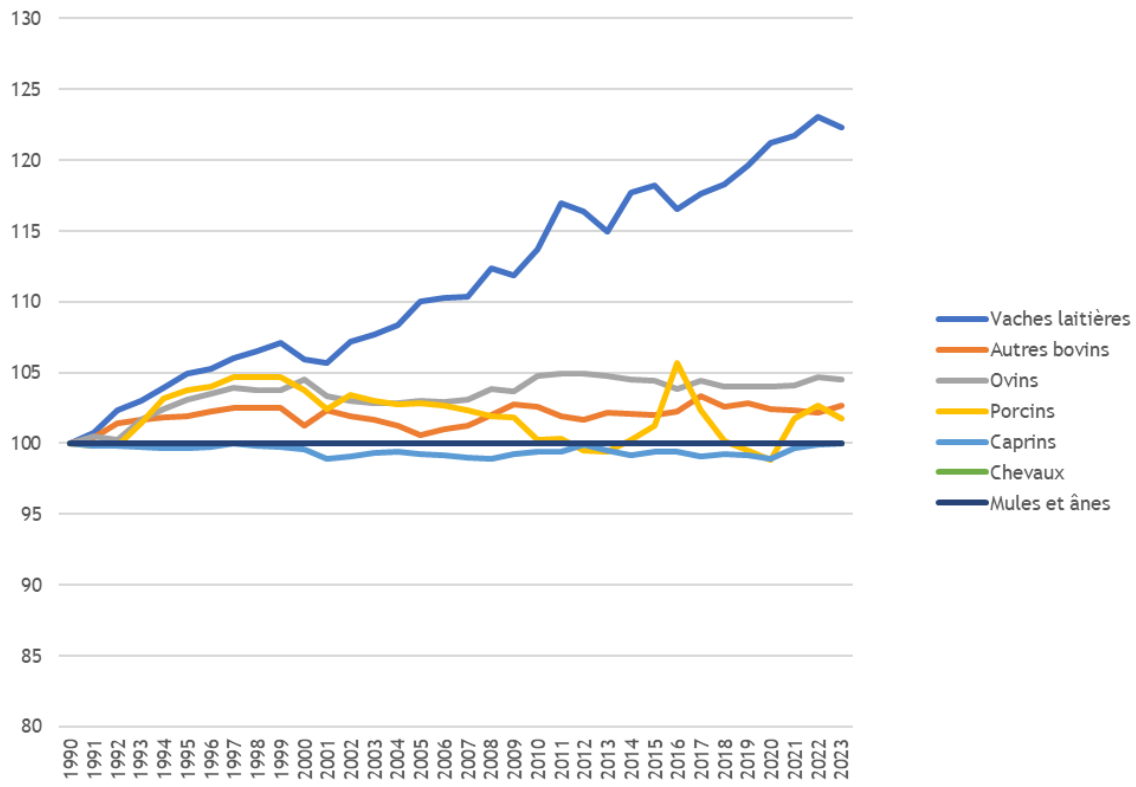



**Figure 163 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de $CH_4$ de la fermentation entérique par tête par an par catégorie animale**

Pour les vaches laitières, la hausse du facteur d'émission est directement en lien avec l'augmentation du rendement laitier. Pour les autres bovins, les variations constatées sont le résultat d'évolutions différenciées du nombre d'animaux au sein des sous-catégories bovines (les facteurs d'émission par sous-catégorie étant constants), avec une hausse des catégories plus émettrices (vaches nourrices). Le même constat est fait pour les ovins (augmentation de la part des brebis mères laitières dans les effectifs ovins totaux) et pour les caprins (recul de la catégorie « autres caprins », moins émettrices, dans les effectifs caprins totaux). Pour les porcins, le facteur d'émission par place est globalement en baisse sur la période en lien avec la baisse de la part des truies dans les effectifs porcins totaux. La variation brusque constatée en 2016 s'explique par une plus forte production de porcs ramenée au nombre de places rapportées dans la SAA.

## 5.2.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données Ominea disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/fr/ominea/.

La méthode appliquée est de rang Giec 2 ou 3, à l'exception des cervidés d'élevage en Nouvelle-Calédonie pour lesquels on applique une méthode de niveau 1. Pour les autres catégories animales, le niveau de méthode appliqué dans l'inventaire français pour la fermentation entérique n'est pas simple à déterminer car il s'agit de facteurs d'émissions nationaux basés sur deux méthodologies légèrement différentes de celle du Giec.

Les émissions liées à la fermentation entérique sont calculées à partir des données de cheptels fournis annuellement de façon détaillée dans les publications des services statistiques du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire [410] (cf. section « Agriculture | Introduction »).

La méthodologie nationale de quantification des émissions de la fermentation entérique s'appuie sur les résultats de la publication d'Eugene, et al (2019) [986] pour les vaches laitières, du projet Mondferent I (2012) [508] pour les autres bovins, Mondferent II (2015) [796] pour les caprins, ovins et porcins, et sur Vermorel et al. (2008) [362] pour les autres animaux.

*A noter : la méthode publiée dans l'article d'Eugene, et al (2019) [986] est la même que celle utilisée pour le projet Mondferent I. Pour le projet Mondferent II, le calendrier de publication des résultats est toujours à l'étude.*

**Tableau 179 : Récapitulatif des méthodes d'estimation du $CH_4$ entérique**

| | | Donnée d'activité | Provenance du FE |
|---|---|---|---|
| Vaches laitières | | Cheptel | Eugène, et al (2019) |
| Autres bovins | Vaches nourrices | Cheptel | Mondferent I |
| | Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans | Cheptel | Mondferent I |
| | Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans | Cheptel | Mondferent I |
| | Génisses de boucherie de plus de 2 ans | Cheptel | Mondferent I |
| | Mâles de type laitier de plus de 2 ans | Cheptel | Mondferent I |
| | Mâles de type viande de plus de 2 ans | Cheptel | Mondferent I |
| | Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans | Cheptel | Mondferent I |
| | Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans | Cheptel | Mondferent I |
| | Génisses de boucherie de 1 à 2 ans | Cheptel | Mondferent I |
| | Mâles de type laitier de 1 à 2 ans | Cheptel | Mondferent I |
| | Mâles de type viande de 1 à 2 ans | Cheptel | Mondferent I |
| | Veaux de boucherie | Cheptel | Mondferent I |
| | Autres femelles de moins de 1 an | Cheptel | Mondferent I |
| | Autres mâles de moins de 1 an | Cheptel | Mondferent I |
| Porcins | Porcelets non sevrés (<8kg) | Production | Mondferent II |
| | Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg) | Production | Mondferent II |
| | Verrats de 50 kg et plus | Cheptel | Vermorel |
| | Porcs à l'engrais (>30kg) | Production | Mondferent II |
| Truies de 50 kg et plus | | Cheptel | Mondferent II |
| Caprins | Chevrettes | Cheptel | Mondferent II |
| | Chèvres (femelles ayant mis bas) | Cheptel | Mondferent II |
| | Autres caprins (y compris boucs) | Cheptel | Mondferent II |
| Ovins | Agnelles | Cheptel | Mondferent II |
| | Brebis mères allaitantes (y c. réforme) | Cheptel | Mondferent II |
| | Brebis mères laitières (y c. réforme) | Cheptel | Mondferent II |
| | Autres ovins (y compris béliers) | Cheptel | Mondferent II |
| Chevaux | Chevaux de selle, sport, loisirs et course | Cheptel | Vermorel |
| | Chevaux lourds | Cheptel | Vermorel |
| Anes, mulets, bardots | | Cheptel | Vermorel |
| Cervidés d'élevage | | Cheptel | Giec 2019 |

Les émissions de méthane entérique ne sont pas estimées pour les volailles et les lapines : leur production de $CH_4$ est très faible et souvent négligée [1051]. Il n'existe d'ailleurs pas de facteur d'émission pour ces catégories dans le Giec 2006, ni dans le raffinement du Giec 2019.

## Vaches laitières

*La méthode d'estimation détaillée est disponible en annexe « A.2 Fermentation entérique des vaches laitières et estimation du SV ».*

*Avec : EF : facteur d'émission de CH4 entérique (kg CH4/tête/an) ;*
*MODI : matière organique digestible ingérée (kg/tête/an) ;*
*FCMe : facteur de conversion en méthane entérique (g CH4/kg MODI)*

*Avec : FCMe : facteur de conversion en méthane entérique (g $CH_4$/kg MODI) ;*
*NI : niveau d'ingestion (kg matière sèche ingérée / jour / 100 kg poids vif) ;*
*PC : part de concentrés dans la ration (%)*

Le facteur d'émission obtenu varie au cours du temps et selon les régions. Les émissions totales sont calculées en multipliant les facteurs d'émission par les données de cheptels, tirées de la SAA [410].

## Autres bovins

*La méthode d'estimation détaillée est disponible en annexe « A.3 Fermentation entérique des autres bovins et estimation du SV ».*

Pour les autres bovins, les facteurs d'émissions sont tirés du projet Mondferent I conduit par l'Inrae [508][509]. La méthodologie proposée permet d'estimer les émissions de $CH_4$ entérique par l'équation de Sauvant et al. 2011 [510] à partir de la Matière Organique Digestible Ingérée (MODI) :

$CH_4$ (g/kg PV/jour) = 0,083 + 0,025 x MODI (g/kg PV/jour)

*Avec : PV = Poids vif moyen sur la période concernée (kg)*

Les quantités de MODI ont été estimées par sous-catégorie bovine à partir des besoins énergétiques des animaux, des données de rationnement moyen à l'échelle nationale [657] et des caractéristiques moyennes des aliments tirées des tables rouges de l'INRA [658], Les catégories de bovins étudiées permettent d'obtenir une vision jugée représentative de l'élevage français.

Les facteurs d'émission de méthane entérique calculés sont constants dans le temps pour les 14 catégories animales d'autres bovins. Ces facteurs par sous-catégorie sont listés plus bas (section « Récapitulatif - Facteurs d'émission de CH4 entérique et paramètres associés ») et une comparaison a été effectuée avec les valeurs recalculées par la méthode Giec 2019 [1229] (voir plus bas). Cependant, du fait de la variation annuelle des effectifs de ces catégories animales, le facteur d'émission de méthane entérique pour la catégorie agrégée « autres bovins » peut varier annuellement.Les émissions totales sont calculées en multipliant les facteurs d'émission par les données de cheptels, tirées de la SAA [410].

## Ovins et Caprins

Pour les ovins et les caprins, les facteurs d'émissions sont tirés du projet Mondferent II conduit par l'Inrae [796] [797]. La méthodologie appliquée est similaire à celle développée lors du projet Mondferent I pour les bovins, car elle est fondée sur une des équations proposées par Sauvant et al. (2011), permettant le calcul du $CH_4$ à partir de la MODI.

Plusieurs sous-catégories ont été étudiées, de manière à couvrir à la fois les catégories recensées dans la SAA mais aussi à fournir une analyse représentative de la situation de l'élevage français. Pour cela, l'Inrae s'est appuyé sur des cas-types de l'Institut de l'élevage, bien caractérisés en termes de calendrier d'alimentation et de gestion du troupeau. Les pratiques d'alimentation et les modes de gestion animaux décrits dans ces cas type ont été retenus. Pour chaque catégorie animale retenue, un ou plusieurs cas-types jugés représentatifs de la population concernée ont été étudiés. L'alimentation de ces cas-types a été divisée en six rations au maximum.

Les catégories animales retenues sont les suivantes :

- Ovins : brebis laitières, brebis allaitantes, agnelles laitières, agnelles allaitantes, agneaux de race rustique, béliers.
- Caprins : chèvres laitières, chevrettes, chevreaux, boucs.

L'équation de Sauvant et al (2011) utilisée dans ce projet permet d'évaluer les émissions de $CH_4$ entérique à partir de la MODI, du niveau d'ingestion et de la part des concentrés dans la ration. L'équation ci-dessous prend en compte les effets des interactions digestives sur le ratio $CH_4$/MODI :

$CH_4$ (g) / MODI (kg) = $45,42 – 6,66\ NI + 0,75\ NI^2 + 19,65\ PCO – 35,0\ PCO^2 - 2,69\ NI \times PCO$

*Avec : NI = Niveau d'ingestion, défini par la quantité de Matière Sèche Ingérée (MSI) exprimée en % du poids vif (MSI%PV);*
*PCO = Proportion de Concentré dans la ration.*

La MODI de la ration est estimée à partir de la relation suivante :

MODI (kg) = MSI x MO x dMOcorrigée / 1000

*Avec : MSI = Matière Sèche Ingérée (kg) ;*
*MO = Matière Organique (g/kgMSI) ;*
*dMOcorrigée = digestibilité de la ration corrigée des effets des interactions digestives sur la matière organique digestible*

Le type et les ingrédients des rations proviennent des informations relatives aux sous-catégories considérées. Les niveaux d'ingestion et les besoins en nutriments ont quant à eux été estimés à partir de données actualisées dans le cadre d'un programme de l'Inrae « Systali » et de bases de données zootechniques obtenues en conditions expérimentales contrôlées.

Dans le projet MONDFERENT II, la Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI) des fèces, correspondant au SVfèces utilisé au CRT 3B, est obtenue de la façon suivante :

SVfèces = MONDI (kg) = MSI x MO / 1000 - MODI

Pour ce projet, l'objectif a été d'être le plus possible en cohérence avec les lignes directrices du Giec 2006 (cohérentes sur ce point avec le Giec 2019), et l'hypothèse a été faite que la matière organique des urines est également émettrice de CH4. Le SVurine utilisé au CRT 3B, est obtenu de la façon suivante :

SVurine (kg) = MSI x MO / 1000 x EU/EB

*Avec : EU/EB : rapport entre l'énergie urinaire et l'énergie brute*

Le rapport EU/EB est calculé selon l'équation suivante, provenant de Sauvant et Giger-Reverdin (2009) [794]

| EU/EB = 5,7 - 0,71 NI |
|---|

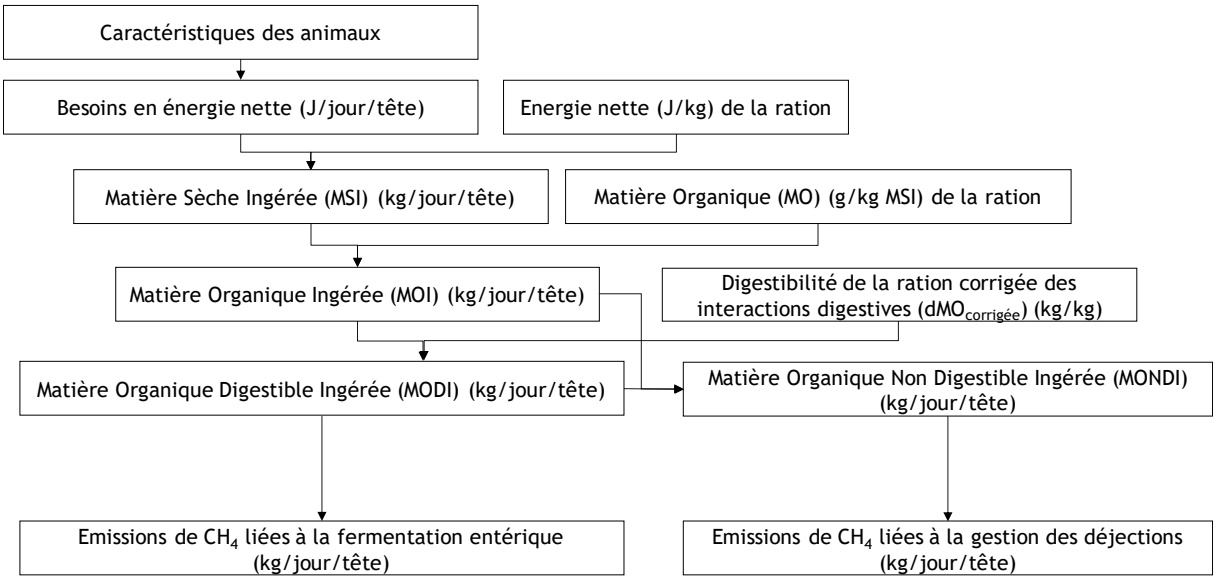



**Figure 164 : Schéma récapitulatif de l'évaluation du $CH_4$ entérique par la méthode MONDFERENT II**

Les facteurs d'émission de méthane entérique calculés sont constants dans le temps pour les sous-catégories d'ovins et de caprins.

Pour mettre en cohérence les catégories animales étudiées dans MONDFERENT II avec les catégories animales de la SAA, des pondérations ont été faites à partir des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour l'année 2020 :

- Catégorie « agnelles » de la SAA : pondération entre agnelles laitières et allaitantes ;
- Catégorie « autres ovins » de la SAA : pondération entre agneaux et béliers ;
- Catégorie « autres caprins » de la SAA : pondération entre chevreaux et boucs.

Les pondérations sont appliquées de la façon suivante sur la période : utilisation de la pondération 2007 de 1990 à 2007 ; utilisation de la pondération 2020 à partir de l'année 2020 ; interpolation des données pour les années 2008-2019.

Ces facteurs par sous-catégorie sont listés plus bas (section « Récapitulatif - Facteurs d'émission de $CH_4$ entérique et paramètres associés »), et une comparaison a été faite avec les valeurs recalculées par la méthode Giec 2019 [1229]. Cependant, du fait de la variation annuelle des effectifs de ces sous-catégories animales, les facteurs d'émission de méthane entérique pour les catégories agrégées « ovins » et « caprins » peuvent varier annuellement.

Les émissions totales sont calculées en multipliant les facteurs d'émission par les données de cheptels, tirées de la SAA [410].

## Porcins

Pour les porcins, les facteurs d'émissions sont tirés du projet Mondferent II conduit par l'Inrae [796] [797]. Les valeurs fournies par le projet concernent les porcelets en post sevrage (entre 8kg et 30kg), les porcs à l'engrais (>30kg) et les truies. On considère que les émissions de $CH_4$ entérique des porcelets non sevrés (<8kg) sont nulles du fait de leur alimentation faite exclusivement à base de lait. Pour les verrats, la méthodologie Vermorel est appliquée (cf. paragraphe suivant).

Pour les porcins (post-sevrage et engraissement) et les truies, la méthodologie appliquée dans le projet Mondferent II est celle développée par Rigolot et al [793]. Les émissions de $CH_4$ entérique sont calculées avec l'équation suivante :

| $CH_4$ (kg/tête) = Aliment x (ResDintake1 x Prop1 + ResDintake2 x Prop2) x Perte_Energie / 55,65 |
|---|

*Avec :* *Aliment = quantité d'aliment ingérée au cours de la vie de l'animal (kg/tête) ;*
*ResDintake1 et ResDintake2 : teneur en fibres digestibles ingérées de l'aliment ;*
*Prop1 et Prop2 : répartition entre les deux aliments ;*
*Perte_Energie : perte d'énergie sous forme de $CH_4$ provenant des fibres digérées, égale à 0,67 pour les porcins et 1,34 pour les truies ;*
*55,65 : contenu énergétique du méthane.*

Le paramètre Aliment (kg/animal) pour les porcins (post-sevrage et engraissement) provient des documents de Gestion Technico-économiques publiés chaque année par l'IFIP jusqu'en 2016 [505]. Ces données n'ont pas pu être transmises entre 2017 et 2019, mais elles sont - à partir de 2020 - fournies directement par l'IFIP au Citepa. Pour les truies, le paramètre Aliment est fixe dans le temps et provient du projet Mondferent II.

Les paramètres ResDintake sont fixes dans le temps mais sont distingués selon le mode d'alimentation : standard ou biphase. Ils ont été obtenus pour des aliments types, représentatifs de ces deux modes d'alimentation. Dans la formule ci-dessus, les paramètres ResDintake1 ; Prop1 ; ResDintake2 et Prop2 sont non nuls pour l'alimentation biphase. En revanche, pour l'alimentation standard, seuls les paramètres ResDintake1 et Prop1 sont non nuls. La part des animaux gérés en alimentation biphase est connue grâce aux enquêtes bâtiments d'élevage 2001, 2008 (voir section « Agriculture | Introduction ») et grâce à l'enquête pratiques d'élevage 2015 [980].

Pour les catégories porcelets en post sevrage (entre 8kg et 30kg) et les porcs à l'engrais (<30kg), le facteur d'émission de $CH_4$ entérique par tête évolue dans le temps du fait de l'évolution du paramètre Aliment et de la proportion d'animaux en biphase sur la période. Pour les truies, l'évolution est liée à la proportion d'animaux en biphase sur la période.

Pour calculer les émissions de $CH_4$ entérique des porcelets en post-sevrage et des porcs à l'engrais, l'approche mise en place est l'approche production. Cette approche est jugée plus pertinente car les facteurs d'émission sont exprimés par tête, et ces animaux vivant moins d'un an, il est plus réaliste d'utiliser des données de productions que de cheptels. Les données d'abattages bruts sont fournies par la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée par le SSP [410]. Elles présentent les productions totales pour la métropole et les DOM (correspondant au périmètre UE). Ces données sont ensuite corrigées pour tenir compte des taux de pertes et saisies, publiés chaque année par l'IFIP au sein de ses documents de Gestion Technico-économiques jusqu'en 2016 [505]. Ces données n'ont pas pu être transmises entre 2017 et 2019, mais elles sont - à partir de 2020 - fournies directement par l'IFIP au Citepa. Les facteurs d'émission du projet MONDFERENT II sont appliqués à ces données de productions corrigées. Les émissions de $CH_4$ entérique totales calculées sont ensuite utilisées pour recalculer un facteur d'émission moyen en rapportant ces émissions aux populations tirées de la SAA [410] et retravaillées par le Citepa (voir section « Agriculture | Introduction »).

Pour les truies, les émissions de $CH_4$ entérique sont calculées en multipliant le facteur d'émission, qui varie sur la période, par la population, tirée de la SAA [410].

### Autres animaux

Pour les verrats, les chevaux et les ânes et mules, les facteurs d'émissions de $CH_4$ entérique sont issus des travaux de Vermorel et al. [362]. La méthode développée permet de prendre en compte les principaux facteurs de variation des émissions de méthane liés à l'animal (espèce, type de production, niveau de production) et à la ration (quantités d'aliments ingérés, composition chimique des aliments, interactions entre aliments au sein d'une ration). La référence [362] fournit une description détaillée des méthodologies employées pour chaque espèce.

Pour les verrats, des équations spécifiques établies par l'Inrae ont été utilisées, très proches de celles développées par Rigolot et al [793] car fondées sur les teneurs en résidus digestibles des rations.

Pour les équins, les besoins énergétiques nets ont été convertis en Energie Digestible (ED) puis convertis en émissions de méthane à l'aide d'équations de prédiction des émissions basées sur la composition chimique des rations.

Ces facteurs d'émission sont fixes dans le temps par sous-catégorie. Cependant, ces animaux sont agrégés par catégorie plus large. Ainsi, les facteurs d'émission par grande catégorie peuvent varier annuellement du fait des variations annuelles d'effectifs par sous-catégorie. Les émissions totales sont calculées en multipliant les facteurs d'émission par les données de cheptels, tirées de la SAA [410].

### Récapitulatif - Facteurs d'émission de $CH_4$ entérique et paramètres associés

La méthode française diffère de la méthode proposée dans le Giec : la principale différence est que la méthode française s'appuie sur la matière organique (ingérée, digestible) alors que celle du Giec est fondée sur les énergies (brute, digestible, nette). Afin de faciliter la comparaison entre ces deux approches, les paramètres utilisés dans la méthode Giec (Energie Brute – EB, facteur de conversion du méthane – Ym) ont été estimés à partir des résultats des projets français.

**Energie brute - EB**

Pour les vaches laitières, l'énergie brute est estimée à partir des besoins des animaux, de la composition des rations [1316] et des valeurs des aliments issues des tables Inrae 2018 [1315]. L'ensemble des calculs est détaillé en annexe « A.2 Fermentation entérique des vaches laitières et estimation du SV ».

Pour les autres bovins, l'énergie brute est calculée dans le projet MONDFERENT I. à partir des besoins énergétiques calculés en UF (Unité Fourragère), et du ratio EB/UF. Ce ratio a pu être déterminé en utilisant des données de rationnement moyen à l'échelle nationale [657] par grand type de production (lait/viande), combinées avec les caractéristiques moyennes des différents aliments tirées des tables rouges de l'Inrae [658].

Pour les ovins et les caprins, l'énergie brute est calculée dans le projet MONDFERENT II, à partir de la Matière Sèche Ingérée (MSI) par catégorie animale étudiée, exprimée en kg MSI/jour, multipliée par le ratio EB/MSI associé à la ration de la catégorie animale étudiée.

*A noter : comme pour les facteurs d'émission, pour mettre en cohérence les catégories animales étudiées dans MONDFERENT II avec les catégories animales de la SAA, des pondérations ont été faites à partir des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour 2020 :*

- *Catégorie « agnelles » de la SAA : pondération entre agnelles laitières et allaitantes ;*
- *Catégorie « autres ovins » de la SAA : pondération entre agneaux et béliers ;*
- *Catégorie « autres caprins » de la SAA : pondération entre chevreaux et boucs.*

*Les pondérations sont appliquées de la façon suivante sur la période : utilisation de la pondération 2007 de 1990 à 2007 ; utilisation de la pondération 2020 à partir de l'année 2020 ; interpolation des données pour les années 2008-2019.*

Pour les autres catégories animales, c'est à dire pour les porcins, les équins et les cervidés d'élevage, l'énergie brute n'a pas été calculée.

**Facteur de conversion du méthane - Ym**

Pour les bovins, les ovins et les caprins, le Ym est recalculé en divisant les émissions de $CH_4$ entérique obtenues par la méthode française (multipliées par 55,65 qui est la valeur énergétique du méthane) par l'énergie brute (voir ci-dessus).

Pour les autres catégories animales, c'est à dire pour les porcins, les équins et les cervidés d'élevage, le Ym n'a pas été calculé.

Le tableau ci-dessous liste, par sous-catégorie, les facteurs d'émission de $CH_4$ entérique obtenus et les paramètres associés. Pour les sous-catégories dont les facteurs d'émission évoluent dans le temps, la plage 1990-2023 est indiquée.

**Tableau 180 : Récapitulatif des facteurs d'émission $CH_4$ entérique et paramètres associés**

| | Donnée d'activité | FE (kg CH4/tête) | EB (MJ/jour/tête) | Valeur du Ym (%) |
|---|---|---|---|---|
| Vaches laitières | Cheptel | 121,7 - 148,8 | 273 - 360 | 6,8 - 6,3 |
| Vaches nourrices | Cheptel | 81,0 | 190 | 6,5 |
| Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans | Cheptel | 77,7 | 181 | 6,5 |
| Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans | Cheptel | 63,2 | 142 | 6,8 |
| Génisses de boucherie de plus de 2 ans | Cheptel | 69,1 | 155 | 6,8 |
| Mâles de type laitier de plus de 2 ans | Cheptel | 76,3 | 172 | 6,7 |
| Mâles de type viande de plus de 2 ans | Cheptel | 76,3 | 172 | 6,7 |
| Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans | Cheptel | 55,8 | 130 | 6,6 |
| Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans | Cheptel | 52,4 | 122 | 6,5 |
| Génisses de boucherie de 1 à 2 ans | Cheptel | 58,6 | 138 | 6,5 |
| Mâles de type laitier de 1 à 2 ans | Cheptel | 64,3 | 159 | 6,2 |
| Mâles de type viande de 1 à 2 ans | Cheptel | 69,3 | 176 | 6,0 |
| Veaux de boucherie | Cheptel | 0,0 | NE | NE |
| Autres femelles de moins de 1 an | Cheptel | 22,8 | 54 | 6,5 |
| Autres mâles de moins de 1 an | Cheptel | 23,8 | 63 | 5,7 |
| Porcelets non sevrés (<8kg) | Production | 0,0 | NE | NE |
| Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg) | Production | 0,28 - 0,31 | NE | NE |
| Verrats de 50 kg et plus | Cheptel | 0,8 | NE | NE |
| Porcs à l'engrais (>30kg) | Production | 0,70 - 0,79 | NE | NE |
| Truies de 50 kg et plus | Cheptel | 3,07 - 3,07 | NE | NE |
| Chevrettes | Cheptel | 9,6 | 25,3 | 5,5 |
| Chèvres (femelles ayant mis bas) | Cheptel | 17,5 | 56,4 | 4,4 |
| Autres caprins (y compris boucs) | Cheptel | 8,23 - 9,50 | 24,1 - 27,9 | 5,0 |
| Agnelles | Cheptel | 7,90 - 7,98 | 20,6 - 20,9 | 5,5 |
| Brebis mères allaitantes (y c. réforme) | Cheptel | 15,9 | 38,7 | 5,9 |
| Brebis mères laitières (y c. réforme) | Cheptel | 20,3 | 54,5 | 5,3 |
| Autres ovins (y compris béliers) | Cheptel | 2,33 - 3,13 | 24,7 - 25,7 | 1,8 - 2,0 |
| Chevaux de selle, sport, loisirs et course | Cheptel | 21,4 | NE | NE |
| Chevaux lourds | Cheptel | 21,4 | NE | NE |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anes, mulets, bardots | Cheptel | 12,1 | NE | NE |
| Cervidés d'élevage | Cheptel | 20,0 | NE | NE |

## 5.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 3A).

Sur l'activité, **l'incertitude retenue est de 5 %** car les cheptels français sont issus de la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée chaque année par le Ministère en charge de l'agriculture. Ces données officielles nationales font l'objet de nombreux contrôles, et sont bien documentées. L'encadré ci-dessous présente un extrait des principaux éléments méthodologiques structurant la SAA.

Statistique agricole annuelle (SAA) – Éléments méthodologiques (extrait)

La SAA est une opération de synthèse utilisant l'ensemble des informations disponibles sur un sujet donné. Les résultats de la SAA sont le fruit de consolidations et d'arbitrages conduisant à des données cohérentes dans le temps et homogènes dans l'espace.

Pour établir la SAA, les services régionaux disposent :

- des résultats des enquêtes statistiques : enquêtes réalisées chaque année ou périodiquement par les services statistiques, conformément à un programme national annuel approuvé par le Conseil national de l'information statistique (enquête Structure, inventaire Vergers, Terres labourables…) ; enquêtes effectuées à l'échelon local auprès des coopératives ou des groupements de producteurs ;
- d'informations rassemblées auprès des correspondants agricoles locaux, des organismes professionnels, des agriculteurs ;
- de données administratives (déclaration de demandes aux aides PAC, Politique agricole commune, fournis par l'ASP, Agence de services et de paiement, le casier viticole informatisé des Douanes…).

Outre ces sources de renseignement, ils disposent également d'évaluations de correspondants et d'experts ainsi que de données chiffrées fournies par les organismes techniques professionnels.

Pour certaines productions, seules les régions qui produisent le plus sont interrogées ; les régions dans lesquelles la production est faible sont estimées en faisant évoluer le chiffre de l'année précédente comme la moyenne nationale. En règle générale, afin que la partie estimée reste contenue, l'ensemble des régions non-répondantes pour une production représente moins de 15% de l'ensemble de cette production (selon les chiffres du dernier recensement agricole).

Les résultats de la SAA sont régulièrement ajustés sur les résultats d'enquêtes à larges échantillons ou d'opérations exhaustives, tels les recensements agricoles réalisés en 1970, 1979, 1988, 2000 et 2010. Le dernier ajustement a été fait en 2012 pour les données de production et en 2013 pour l'utilisation du territoire : les données 2000-2010 de la SAA ont été recalées sur les résultats du recensement agricole 2010.

**L'incertitude sur le facteur d'émission du $CH_4$ est de 15 %.** En effet, d'après le guide des bonnes pratiques du Giec, pour les facteurs d'émission de la méthode Tier 2, l'incertitude est de l'ordre de 20 %. Or, l'utilisation des résultats des projets MONDFERENT I et II permet d'obtenir une estimation plus précise des facteurs d'émissions de méthane entérique des bovins, ovins, caprins et porcins, responsables de la quasi-totalité des émissions de $CH_4$ entérique.

Pour l'ensemble de la période, les sources statistiques utilisées sont les mêmes afin d'assurer la cohérence temporelle.

## 5.2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

**Dispositions générales**

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Les statistiques recueillies entrent dans le champ de l'assurance qualité de l'organisme émetteur.

Le Citepa effectue également des vérifications internes sur la cohérence des séries dans le temps.

Au niveau national, depuis l'année 2010, un groupe de travail sur les inventaires de l'agriculture se réunit en moyenne une fois par an pour discuter des méthodologies d'inventaire et de leurs évolutions. Ce groupe inclut un panel important d'experts français (Inrae, Instituts techniques, etc.) sur toutes les questions relatives aux émissions dans l'atmosphère de l'agriculture.

### Bovins, ovins et caprins

Afin d'éprouver les méthodes françaises, et conformément aux recommandations des revues précédentes, une comparaison avec la méthode de niveau 2 du Giec 2019 [1229] a été réalisée pour les bovins, ovins et caprins.

*A noter : le Giec 2019 propose également une méthode Tier 2 simplifiée, fondée sur la matière sèche ingérée. Nous n'avons pour l'instant pas appliqué cette méthode pour comparer les résultats obtenus avec notre méthode nationale mais il serait intéressant dans les prochaines éditions de le faire.*

Comme mentionné plus haut, la méthode française de l'Inrae diffère de la méthode proposée dans le Giec. Les caractéristiques et utilité de cette méthode Inrae sont décrites dans la publication Eugene et al [986], dont voici ci-dessous un extrait traduit.

**Extrait d'Eugene et al [986]**

« La méthode appliquée dans l'inventaire n'est pas une approche de niveau 2, car elle n'utilise pas un coefficient Ym fixe. La priorité a été donnée à une relation avec la Matière Organique Digestible (MOD) pour être cohérent avec les systèmes d'alimentation révisés de l'Inrae, et parvenir à une cohérence dans la détermination des émissions de $CH_4$ entérique et des déjections, ces dernières étant négativement liées à la MOD. Il faut souligner que le $CH_4$ entérique et la MOD ont été largement et précisément mesurés dans des études calorimétriques.

Le Giec (2006) déclare qu'une approche de niveau 3 "pourrait utiliser le développement de modèles sophistiqués qui tiennent compte de la composition du régime en détails, de la concentration des produits issus de la fermentation des ruminants, de la saisonnalité de la population animale ou de la qualité et de la disponibilité des aliments, et des stratégies d'atténuation possibles ». La présente méthode utilise un modèle empirique basé sur une très grande base de données (450 régimes traités). Cette base de données couvre les expériences menées dans le monde entier avec une large gamme de régimes alimentaires. Cela correspond bien aux recommandations du Giec, car en France il existe une grande variété de régimes alimentaires, allant de régimes tout fourrage pour les vaches à viande à des régimes à plus de 90 % de concentrés pour certains taureaux engraissés, et comprenant une grande diversité de fourrages et de types de concentrés (Devun et Guinot, 2012).

L'utilisation d'une base de données avec uniquement des expériences françaises aurait été beaucoup plus restrictive, avec une variété plus restreinte de régimes. Le principal avantage d'une grande base de données d'articles publiés est que les équations ont été développées avec des données fiables sur divers régimes alimentaires. De plus, les paramètres d'entrée (poids, rendement laitier ou caractéristiques des aliments) peuvent être soit disponibles directement si l'on se trouve à l'échelle de la ferme, soit être prédits avec précision à partir des tables d'alimentation Inrae. »

La méthode de niveau 2 du Giec permet d'estimer les émissions de $CH_4$ entérique ainsi que les émissions de $CH_4$ liées à la gestion des déjections à partir d'un jeu de paramètres décrivant les caractéristiques d'une sous-catégorie animale.

Ces paramètres ainsi que les sources utilisées sont listés ci-dessous pour les bovins :

**Tableau 181 : Paramètres et sources associées pour le calcul du $CH_4$ entérique des bovins avec la méthode Giec 2019**

| Abréviation | Paramètre | Source |
|---|---|---|
| Cfi | Coefficient permettant de calculer l'énergie nette nécessaire à la survie | Vaches laitières : valeurs du Giec pondérées par les durées moyennes de lactation, issues du contrôle laitier [1052]<br>Vaches allaitantes : valeurs du Giec pondérées par les durées moyennes de lactation, issues du du site internet Web-agri [1252]<br>Autres bovins : Giec |

| | | |
|---|---|---|
| Poids | Poids vif de l'animal | Vaches laitières : recalcul à partir des races représentatives de la situation nationale<br>Autres bovins : Mondferent |
| Ca | Coefficient correspondant aux conditions alimentaires de l'animal | Données Giec pondérées par le temps passé au pâturage |
| C | Coefficient pour le calcul de l'énergie nécessaire à la croissance | Giec |
| PM | Poids vif mature de l'adulte | Vaches laitières : recalcul à partir des races représentatives de la situation nationale<br>Autres bovins : Mondferent |
| PP | Prise de poids moyenne par jour | Calculé |
| Lait | Quantité de lait produite | SAA |
| Matières grasses | Teneur en matières grasses du lait | Données issues du contrôle laitier [1052] |
| Heures | Nombre moyen d'heures de travail par jour | Hypothèse : 0 |
| Cgestation | Coefficient de gestation | GIEC |
| Rgestation | Proportion de femelles en gestation sur l'année | Hypothèse Citepa |
| DE% | Energie digestible en % d'énergie brute | Pondération nationale des données Giec |
| Ym | Facteur de conversion du méthane | Vaches laitières : Giec - Medium producing cows (5000 – 8500 kg /yr)<br>Autres bovins : Giec - Rations of >75% high quality forage and/or mixed rations, forage of between 15 and 75% the total ration mixed with grain, and/or silage |

Le tableau ci-dessous répertorie les paramètres ainsi que les sources utilisées pour les ovins et les caprins :

**Tableau 182 : Paramètres et sources associées pour le calcul du $CH_4$ entérique des ovins et caprins avec la méthode Giec 2019**

| Abréviation | Paramètre | Source |
|---|---|---|
| Cfi | Coefficient permettant de calculer l'énergie nette nécessaire à la survie | Giec |
| Poids | Poids vif de l'animal | Mondferent II |
| Ca | Coefficient correspondant aux conditions alimentaires de l'animal | Giec |
| PPagneaux | Prise de poids (PVf-PVi) | Mondferent II |
| PVi | Poids vif au moment du sevrage | Mondferent II |
| PVf | Poids vif à un an ou au moment de l'abattage si l'abattage a lieu avant un an | Mondferent II |
| a,b | Constantes utilisées pour le calcul | Giec |
| Lait | Quantité de lait produite | Mondferent II |
| VElait | Energie nécessaire à la production d'un kg de lait | Giec |
| VElaine | Valeur énergétique de chaque kg de laine produit | Giec |
| Productionlaine | Production annuelle moyenne de laine par mouton | IDELE [983] |
| Cgestation | Coefficient de gestation | Giec |
| Rgestation | Proportion de femelles en gestation sur l'année | Hypothèse Citepa |
| DA% | Energie digestible en % d'énergie brute | Mondferent II |
| Ym | Facteur de conversion du méthane | Giec |

Le tableau suivant liste d'une part les facteurs d'émission français pour 1990 et 2023, et ceux calculés à partir des paramètres ci-dessus, en suivant la méthodologie Giec 2019 [1229].

**Tableau 183 : Comparaison des facteurs d'émission (FE) $CH_4$ entérique – MONDFERENT I et II / Giec 2019**

| | FE MONDFERENT | | FE estimé à partir du Giec 2019 | | Variation MONDFERENT/Giec 2019 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1990 | 2023 | 1990 | 2023 | 1990 | 2023 |
| Vaches laitières | 121,7 | 148,8 | 112,9 | 140,3 | 8% | 6% |
| Vaches nourrices | 81,0 | 81,0 | 77,0 | 77,3 | 5% | 5% |
| Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans | 77,7 | 77,7 | 56,3 | 56,2 | 38% | 38% |
| Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans | 63,2 | 63,2 | 56,2 | 56,2 | 12% | 12% |
| Génisses de boucherie de plus de 2 ans | 69,1 | 69,1 | 48,8 | 48,6 | 42% | 42% |
| Mâles de type laitier de plus de 2 ans | 76,3 | 76,3 | 67,3 | 67,2 | 13% | 14% |
| Mâles de type viande de plus de 2 ans | 76,3 | 76,3 | 65,3 | 65,2 | 17% | 17% |
| Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans | 55,8 | 55,8 | 62,3 | 62,2 | -10% | -10% |
| Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans | 52,4 | 52,4 | 56,6 | 56,6 | -7% | -7% |
| Génisses de boucherie de 1 à 2 ans | 58,6 | 58,6 | 61,5 | 61,4 | -5% | -5% |
| Mâles de type laitier de 1 à 2 ans | 64,3 | 64,3 | 66,1 | 66,0 | -3% | -3% |
| Mâles de type viande de 1 à 2 ans | 69,3 | 69,3 | 67,4 | 67,3 | 3% | 3% |
| Veaux de boucherie | - | - | - | - | - | - |
| Autres femelles de moins de 1 an | 22,8 | 22,8 | 44,6 | 44,7 | -49% | -49% |
| Autres mâles de moins de 1 an | 23,8 | 23,8 | 42,3 | 42,5 | -44% | -44% |
| Chevrettes | 9,6 | 9,6 | 9,4 | 9,4 | 2% | 2% |
| Chèvres (femelles ayant mis bas) | 17,5 | 17,5 | 14,2 | 14,2 | 23% | 23% |
| Autres caprins (y compris boucs) | 8,2 | 9,5 | 4,7 | 5,2 | 76% | 82% |
| Agnelles | 7,9 | 8,0 | 8,5 | 8,4 | -7% | -5% |
| Brebis mères allaitantes (y c. réforme) | 15,9 | 15,9 | 8,5 | 8,5 | 87% | 87% |
| Brebis mères laitières (y c. réforme) | 20,3 | 20,3 | 14,5 | 14,5 | 40% | 40% |
| Autres ovins (y compris béliers) | 2,3 | 3,1 | 3,8 | 4,1 | -39% | -24% |

Pour mieux comprendre les écarts constatés, les tableaux suivants fournissent les valeurs obtenues pour les paramètres EB et Ym selon les méthodes.

**Tableau 184 : Comparaison des EB - MONDFERENT I et II / Giec 2019**

| | EB recalculée nationale (MJ/jour/tête) | | EB estimée à partir du Giec 2019 (MJ/jour/tête) | | Variation national/GIEC 2019 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1990 | 2023 | 1990 | 2023 | 1990 | 2023 |
| Vaches laitières | 273 | 360 | 273 | 340 | 0% | 6% |
| Vaches nourrices | 190 | 190 | 186 | 187 | 2% | 2% |
| Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans | 181 | 181 | 136 | 136 | 33% | 33% |
| Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans | 142 | 142 | 136 | 136 | 4% | 4% |
| Génisses de boucherie de plus de 2 ans | 155 | 155 | 118 | 118 | 31% | 31% |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mâles de type laitier de plus de 2 ans | 172 | 172 | 163 | 163 | 6% | 6% |
| Mâles de type viande de plus de 2 ans | 172 | 172 | 158 | 158 | 9% | 9% |
| Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans | 130 | 130 | 151 | 151 | -14% | -14% |
| Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans | 122 | 122 | 137 | 137 | -11% | -11% |
| Génisses de boucherie de 1 à 2 ans | 138 | 138 | 149 | 149 | -7% | -7% |
| Mâles de type laitier de 1 à 2 ans | 159 | 159 | 160 | 160 | 0% | 0% |
| Mâles de type viande de 1 à 2 ans | 176 | 176 | 163 | 163 | 8% | 8% |
| Veaux de boucherie | - | - | - | - | - | - |
| Autres femelles de moins de 1 an | 54 | 54 | 108 | 108 | -50% | -50% |
| Autres mâles de moins de 1 an | 63 | 63 | 102 | 103 | -38% | -39% |
| Chevrettes | 25,3 | 25,3 | 26,2 | 26,2 | -3% | -3% |
| Chèvres (femelles ayant mis bas) | 56,4 | 56,4 | 39,4 | 39,4 | 43% | 43% |
| Autres caprins (y compris boucs) | 24,1 | 27,9 | 13,0 | 14,4 | 86% | 93% |
| Agnelles | 20,6 | 20,9 | 19,3 | 19,2 | 7% | 9% |
| Brebis mères allaitantes (y c. réforme) | 38,7 | 38,7 | 19,3 | 19,3 | 100% | 100% |
| Brebis mères laitières (y c. réforme) | 54,5 | 54,5 | 32,9 | 32,9 | 66% | 66% |
| Autres ovins (y compris béliers) | 24,7 | 25,7 | 8,6 | 9,3 | 186% | 176% |

**Tableau 185 : Comparaison des Ym - MONDFERENT I et II / Giec 2019**

| | Ym recalculé national (%) | | Ym estimé à partir du Giec 2019 (%) | | Variation national/Giec 2019 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1990 | 2023 | 1990 | 2023 | 1990 | 2023 |
| Vaches laitières | 6,8 | 6,3 | 6,3 | 6,3 | 8% | 0% |
| Vaches nourrices | 6,5 | 6,5 | 6,3 | 6,3 | 3% | 3% |
| Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans | 6,5 | 6,5 | 6,3 | 6,3 | 4% | 4% |
| Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans | 6,8 | 6,8 | 6,3 | 6,3 | 8% | 8% |
| Génisses de boucherie de plus de 2 ans | 6,8 | 6,8 | 6,3 | 6,3 | 8% | 8% |
| Mâles de type laitier de plus de 2 ans | 6,7 | 6,7 | 6,3 | 6,3 | 7% | 7% |
| Mâles de type viande de plus de 2 ans | 6,7 | 6,7 | 6,3 | 6,3 | 7% | 7% |
| Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans | 6,6 | 6,6 | 6,3 | 6,3 | 4% | 4% |
| Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans | 6,5 | 6,5 | 6,3 | 6,3 | 4% | 4% |
| Génisses de boucherie de 1 à 2 ans | 6,5 | 6,5 | 6,3 | 6,3 | 3% | 3% |
| Mâles de type laitier de 1 à 2 ans | 6,2 | 6,2 | 6,3 | 6,3 | -2% | -2% |
| Mâles de type viande de 1 à 2 ans | 6,0 | 6,0 | 6,3 | 6,3 | -5% | -5% |
| Veaux de boucherie | - | - | - | - | - | - |
| Autres femelles de moins de 1 an | 6,5 | 6,5 | 6,3 | 6,3 | 3% | 3% |
| Autres mâles de moins de 1 an | 5,7 | 5,7 | 6,3 | 6,3 | -9% | -9% |
| Chevrettes | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | -1% | -1% |
| Chèvres (femelles ayant mis bas) | 4,4 | 4,4 | 5,5 | 5,5 | -19% | -19% |
| Autres caprins (y compris boucs) | 5,0 | 5,0 | 5,5 | 5,5 | -9% | -9% |
| Agnelles | 5,5 | 5,5 | 6,7 | 6,7 | -17% | -18% |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Brebis mères allaitantes (y c. réforme) | 5,9 | 5,9 | 6,7 | 6,7 | -12% | -12% |
| Brebis mères laitières (y c. réforme) | 5,3 | 5,3 | 6,7 | 6,7 | -20% | -20% |
| Autres ovins (y compris béliers) | 1,8 | 2,0 | 6,7 | 6,7 | -73% | -71% |

Dans la publication Eugene *et al.* [986], une comparaison entre méthode Inrae et méthode Giec 2006 de Niveau 2 a été conduite et présentée pour différentes catégories animales. L'une des différences soulignées par l'Inrae concernant la méthode dans cette publication est la prise en compte dans la méthode Inrae des interactions digestives, en lien avec le niveau d'ingestion et la part de concentrés. Cela constitue une première piste mais les variations constatées tant au niveau des énergies brutes que des Ym sont encore à l'étude.

A noter : la catégorie « Autres ovins » est majoritairement composée d'agneaux (89 % en 2020), qui sont principalement nourris à base de concentrés, expliquant la faible valeur du facteur Ym obtenue avec la méthode nationale.

Les valeurs développées dans le cadre des projets conduits par l'Inrae ont été privilégiées car jugées plus représentatives de la situation française que celles recalculées à partir de la méthode du Giec 2019 qui représentent plus une moyenne des pays développés.

### Autres animaux

Le tableau ci-dessous compare les facteurs d'émission de méthane entérique agrégés pour l'ensemble des porcins (dont les truies), qui sont issus d'une part de Vermorel et al. (2008) et d'autre part de MONDFERENT II, et pour les chevaux, ânes et mules (issus de Vermorel et al. (2008)), avec ceux proposés par le Giec 2019 Niveau 1 [1229]. Lorsqu'une distinction par système est disponible, on retient les facteurs d'émission associés aux systèmes « high productivity ».

**Tableau 186 : Comparaison des FE nationaux aux FE Tiers 1 du Giec 2019**

| | Facteurs d'émission nationaux (1990-2022) | Estimation à partir du Giec 2019 (Tableau 10.10) | Variation National/Giec 2019 constatée (%) |
|---|---|---|---|
| Porcins | 0,72- 0,77 | 1,5 | -50% (-49% à -52%) |
| Chevaux | 21,4 | 18 | 19% |
| Anes, mulets, bardots | 12,1 | 10 | 21% |

Les variations constatées sont difficiles à interpréter du fait des méthodes différentes mises en œuvre pour le calcul entre le national et le Giec 2019. Tout comme pour les bovins, ovins et caprins, les valeurs nationales ont été privilégiées car jugées plus représentatives de la situation française que celles proposées par le Giec.

## 5.2.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRT 3A

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 43 388 | 42 064 | 42 771 | 39 643 | 39 717 | 39 463 | 37 015 | 36 164 | 35 230 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 46 750 | 44 909 | 45 444 | 42 092 | 41 955 | 41 596 | 38 987 | 38 074 | 37 361 | 36 841 |
| Différence | kt CO2e | +3 362 | +2 846 | +2 672 | +2 449 | +2 238 | +2 133 | +1 972 | +1 910 | +2 131 | +36 841 |
| | % | +8% | +7% | +6% | +6% | +6% | +5% | +5% | +5% | +6% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /3.A

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

Description du recalcul

La méthodologie de calcul du facteur d'émission de méthane entérique des vaches laitières a été révisée cette année pour prendre en compte de nouvelles références notamment sur les besoins en entretiens, l'énergie brute et les solides volatils pour la catégorie. Aussi les émissions des vaches laitières sont en hausse de +16% à +23% sur la période.

Raison et justification

Les raisons et justifications sont l'amélioration de la précision des estimations, avec la mise à jour de certains paramètres de calcul et de certaines données d'activité.

## 5.2.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| CRT category / issue | Review recommendation | Review draft report / paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| **Agriculture** 3.A.1 Cattle–CH4 (A.8, 2021) Transparency | In the NIR analyse and discuss in detail the low energy intake values in the French model and justify the variation in the data collected by Devun et al. (2015), their representativeness for French cattle farming conditions, and the quality of feed and its conversion into metabolized energy.<br>*The CH4 emission from enteric fermentation from cattle (3.A) is based on the French feeding system where feed consumption data is collected for different livestock categories from different areas in France (Devun et al., 2015, Alimentation des bovins, rations moyennes et niveaux d'autonomie alimentaire). These data are reported in kg dry matter head-1 yr-1 and combined with a French model for CH4 emission from enteric fermentation (Sauvant et al., 2011). In the NIR Tables 97, 98 and 99 France has estimated the energy intake and the emissions from the different livestock categories estimated with the French model and the outcome if the model in the 2006 IPCC Guidelines were used. The 2006 IPCC Guidelines generally recommends the American NCR model. This model is based on the net energy intake (NEI) by the ruminants, whereas the French feeding system is based on feeding units and metabolized energy (ME). In general, the French modelling approach shows a 10-15 per cent lower energy intake than when using the 2006 IPCC Guidelines methodology. The rationale for this difference is not analysed and discussed in the submission.*<br>Not resolved. The Party reported in its NIR (section 5.2.2, pp.511–513) the equations and parameters used to estimate the EFs used in calculations on the basis of a countryspecific method. The different values of those parameters (e.g. live weight, milk yield, composition of grass forages and their metabolizable energy content) are the drivers of the differences in the EFs between cattle subcategories. As justification of the representativeness of feed data for French cattle farming conditions, the Party included in the NIR (section 5.2.2, p.511) an extract from the publication "Alimentation des bovins: rations moyennes et autonomie alimentaire" (CIV, 2012). However, it was unclear from this extract whether both large- and small-scale farms were covered in the study undertaken for this publication. During the review, the ERT asked the Party whether the live weight and diet of cattle are representative of both large-scale commercial farms and small farms/households and whether seasonal changes in diet are considered. The Party indicated that the information on live weight of cattle presented in table 97 of the NIR (p.511) are taken from the MONDFERENT project (a study on CH4 emissions for cattle in France), which indicates that the live weight data developed by the National Research Institute for Agriculture, Food and Environment (INRAE) are representative of the national farming conditions. As regards diet, the Party replied that data on feeding rations are collected from livestock networks and tracked in a dedicated database (Diapason) for the whole year, and seasonal changes in diet structure are therefore | 2022 Review ARR / A.1 | Partially implemented. The methodology for dairy cattle has been revised for the 2025 submission. These new results are compared to the IPCC tier 2 method, according to the 2019 refinement guidelines.<br>For other cattle : since the NIR submission 2023, we updated the comparison we conduct with the IPCC tier 2 method, according to the 2019 refinement guidelines. However, we still need more time to analyse and discuss in detail the difference observed for inclusion in the NID. Regarding the variation in the data collected by Devun et al. (2015), and the quality of feed and its conversion into metabolized energy, we assumed that the information already provided in the NIR was sufficient as we included an abstract explaining that the farms considered are representative of the diversity of French farming systems. We also provided a table that presents the main characteristics retained for the main feed encountered. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | considered. Further, based on the publication by CIV, although the size of the farms covered is often above average, feeding practices are still representative of relevant regions. On the basis of the responses provided by the Party, the ERT considers that the representativeness of the data on live weight and feed for French cattle farming conditions has been justified and there is no potential underestimation of emissions in that respect. However, the ERT considers that the recommendation has not yet been addressed because the Party has not analysed and discussed in detail in the NIR (table 104, p.523) the low energy intake values (up to 52 per cent) for most cattle subcategories when using the country-specific method compared with the IPCC tier 2 method, the variation in the data collected by Devun et al. (2015), and the quality of feed and its conversion into metabolized energy. | | |

Suite à la revue de l'UE de 2024, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| CRT category / issue | Review recommendation, technical correction or revised estimate | Review report / paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| FR-3A-2024-0001 | This issue is considered as partly resolved. Therefore, we recommend that you keep on working on the issue and report values for the additional information asked in Table3.As2 in future submissions. | EMRT UE review plateform | Partially implemented.<br>The entire methodology is revised for the 2025 submission for dairy cattle. For other cattle, further investigations is still be needed. France does not apply exactly the methodology proposed by IPCC for a tier 2. Consequently, the parameters expected in the reporting table are not directly used in the calculation of France. Yet we estimated these values on the basis of our own calculation and report them for the 15th of March 2025. |

## 5.2.7 Améliorations envisagées

La méthodologie utilisée pour estimer les émissions de $CH_4$ des vaches laitières a été revue pour cette édition avec la mise en place du groupe de travail sur les bovins. La méthodologie pour les vaches laitières pourrait aussi être appliquée aux vaches allaitantes et aux autres ruminants mais nécessite des données d'entrée sur l'alimentation des animaux qui à notre connaissance sont inexistantes en France ou difficiles à estimer correctement. Toutefois des références pourront être demandées au groupe de travail sur les bovins. L'écart constaté avec la méthodologie Giec étant désormais réduit, cette action n'est toutefois pas jugée prioritaire par rapport à d'autres secteurs émissifs.

# 5.3 Gestion des déjections (3B)

## 5.3.1 Caractéristiques de la catégorie

Les effluents d'élevage sont des sources potentiellement importantes d'émissions ($CH_4$, COVNM, $N_2O$, $NH_3$, NOx) du fait de phénomènes chimiques et biologiques. Ces émissions dépendent principalement des espèces élevées et des pratiques associées (type de bâtiment, temps de stockage, accumulation, traitements), mais leur estimation demeure sujette à de fortes incertitudes du fait de la complexité de prédire parfaitement les interactions possibles entre les cycles de l'azote et du carbone.

La gestion des déjections est à l'origine de quantités importantes de $CH_4$ et, dans une moindre mesure, de $N_2O$. Le cheptel bovin est le premier contributeur aux émissions de GES issus de la gestion des déjections, à l'instar de la fermentation entérique, avec toutefois une contribution moins conséquente sur ce poste. En effet, au niveau des émissions rapportées dans le code CRT 3B correspondant au bâtiment et au stockage des effluents, en 2022, les bovins contribuent à environ 56 % des émissions de GES devant les porcins (27 %) et les volailles (3 %). Le solde est partagé entre les autres catégories animales.

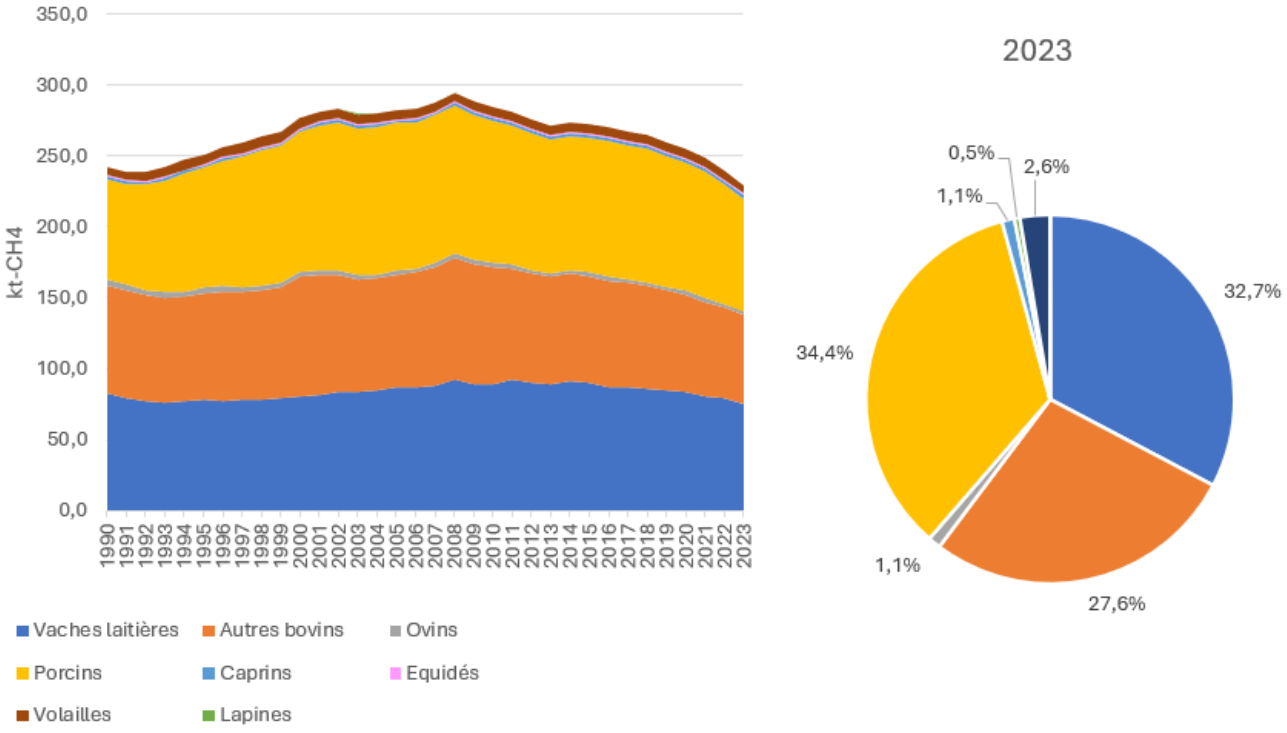



**Figure 165 : Evolution et répartition des émissions de $CH_4$ (kt) de la gestion des déjections par catégorie animale (Périmètre UE)**

Les émissions de $CH_4$ liées à la gestion des déjections sont en léger repli sur la période 1990-2023 (- 5 %), cette stabilité masquant des évolutions contrastées selon les catégories animales. Les émissions associées aux bovins sont en repli de 13 % sur 1990-2023 tandis que celles des porcins sont en hausse (+ 12 %).

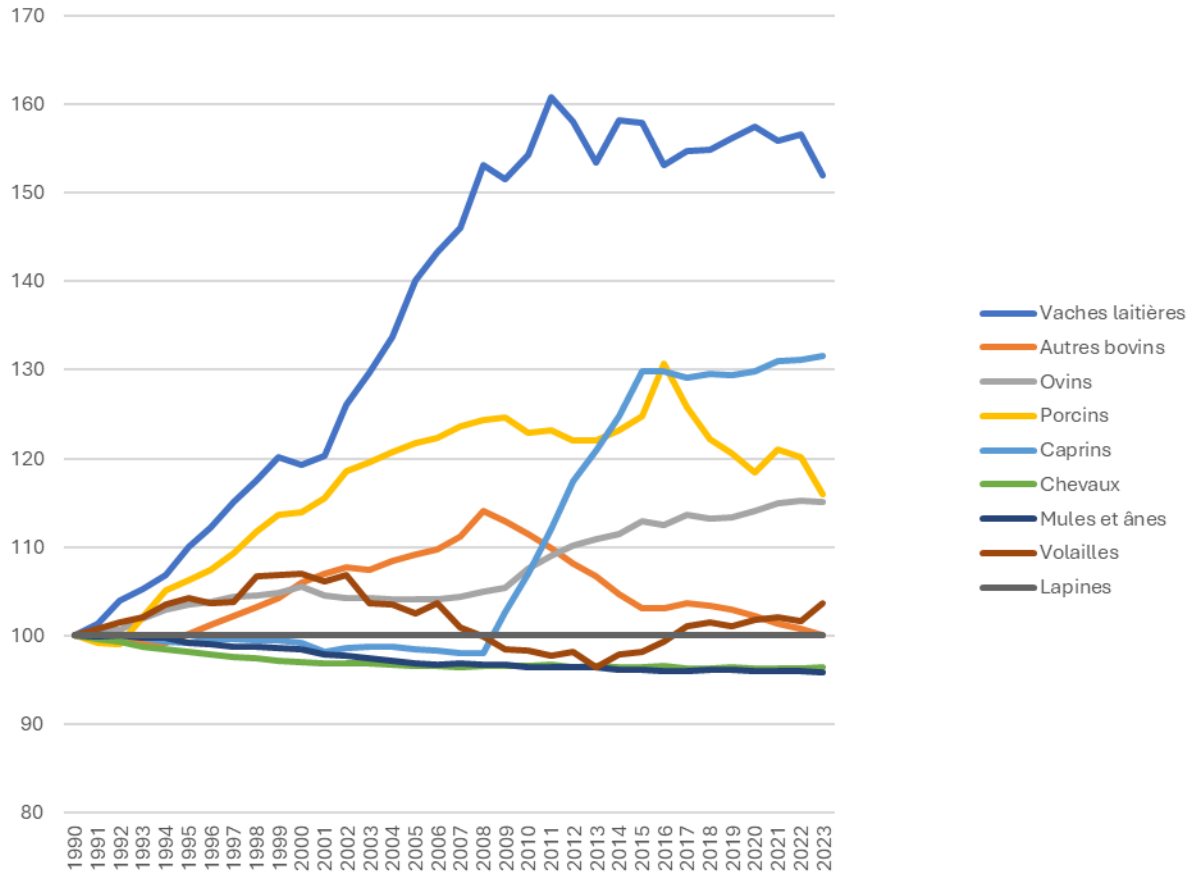



**Figure 166 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de $CH_4$ de la gestion des déjections par tête par an par catégorie animale**

Pour les porcins, cette hausse du facteur d'émission par place s'explique par la hausse du paramètre SV (Solides Volatiles) à mettre en lien avec l'augmentation des poids à l'abattage et la hausse des quantités ingérées, et par l'augmentation de la part des systèmes lisier au détriment des systèmes fumier, déjà très peu répandus en début de période (estimés à 17 % en 1990). Tout cela entraine une hausse du facteur d'émission pour la catégorie « porcins » sur la période.

Pour les vaches laitières, la hausse du facteur d'émission s'explique par l'augmentation du rendement laitier impactant le paramètre SV à la hausse, ainsi que par l'augmentation de la part des systèmes lisier, plus émetteurs de $CH_4$. Cette hausse du facteur d'émission moyen est compensée par la baisse du cheptel sur la période. Pour les autres bovins, les variations du facteur d'émission constatées sur la période sont principalement liées aux vaches nourrices, majoritaires dans cette catégorie « autres bovins ». Pour cette sous-catégorie bovine, on constate une hausse de la part des effectifs gérés en système litière accumulée jusqu'en 2008, système plus émetteur de $CH_4$. Cette tendance à la hausse est ensuite contrebalancée sur la période avec un recul de la part des effectifs gérés en lisier, une légère hausse des effectifs en pâture et une part plus importante de déjections méthanisées.

Pour les volailles, les variations constatées sont le résultat d'évolutions différenciées des sous-catégories animales, avec une chute très forte du cheptel dindes qui fait partie des sous-catégories les plus émettrices parmi les volailles.

La forte hausse constatée pour le facteur d'émission des caprins s'explique par l'apparition, à partir de 2008, de systèmes lisiers.

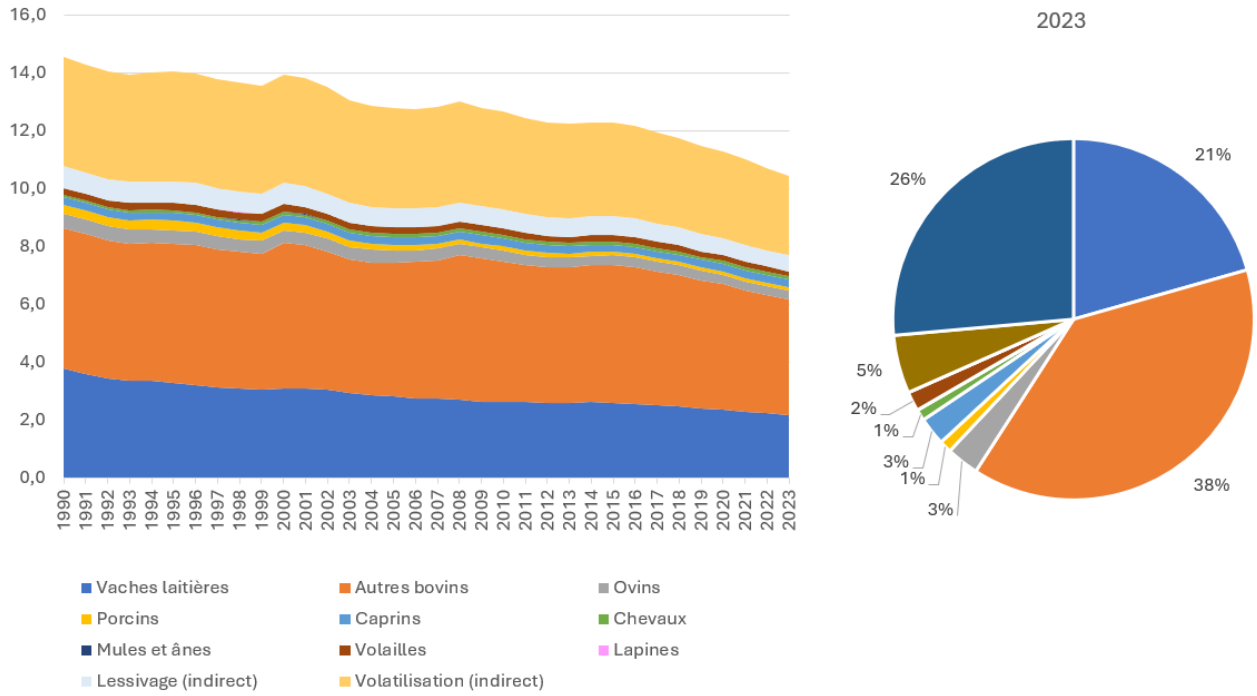



**Figure 167 : Evolution et répartition des émissions de $N_2O$ (kt) de la gestion des déjections par catégorie animale (Périmètre UE)**

Les émissions de $N_2O$ liées à la gestion des déjections ont diminué de 28 % sur la période 1990-2023, principalement du fait des vaches laitières (- 43 %), aux autres bovins (- 17 %) et des émissions indirectes liées à la volatilisation (- 27 %). Les émissions indirectes liées à la volatilisation sont estimées à partir des émissions de $NH_3$ et de NOx au bâtiment et au stockage. Les baisses d'émission de ces deux polluants se rencontrent principalement en bovins, porcins et volailles, entrainant de fait une baisse des émissions indirectes de $N_2O$ liées à la volatilisation. L'évolution des émissions de $NH_3$ et NOx est décrite dans le rapport UNECE.

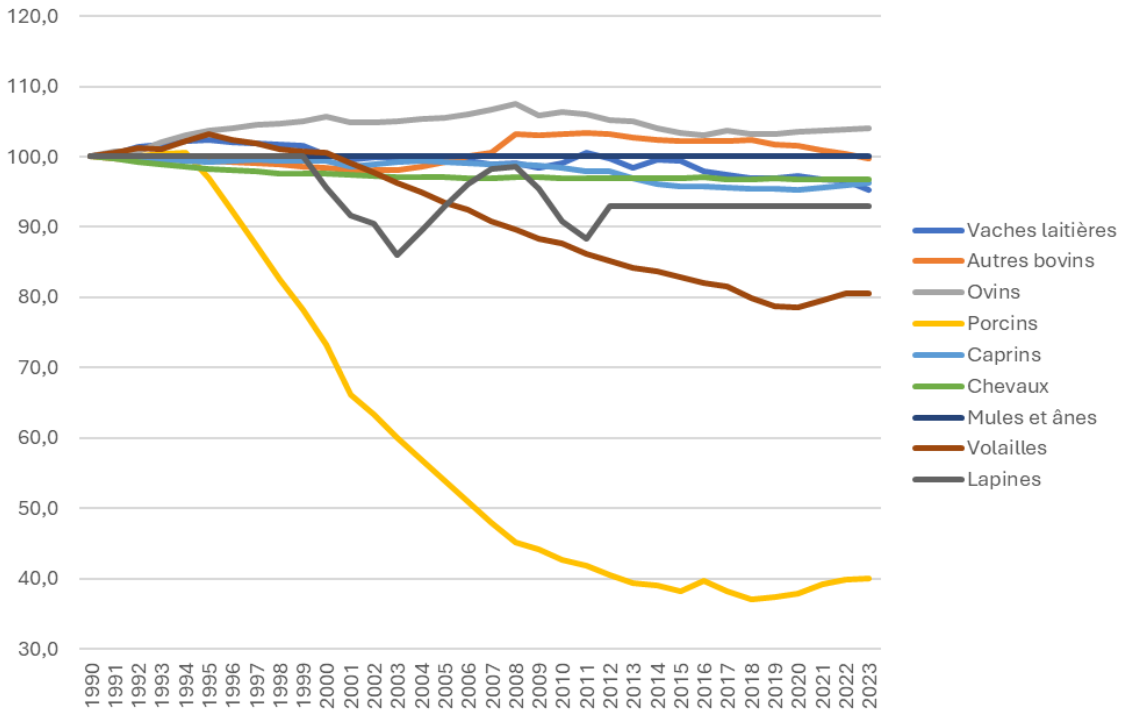



**Figure 168 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de $N_2O$ de la gestion des déjections par tête par an et par catégorie animale**

Pour les vaches laitières, la baisse des émissions s'explique par la diminution du cheptel (voir plus haut) ainsi que par le léger repli du facteur d'émission sur la période. La hausse de l'excrétion azotée sur la période, en lien avec l'augmentation du rendement laitier, est contrebalancée par le développement des systèmes lisiers et de la méthanisation. Pour les autres bovins, comme pour le méthane, les variations constatées sont principalement liées aux vaches nourrices, pour lesquelles les fluctuations du facteur d'émission s'expliquent notamment par l'évolution des animaux gérés à la pâture sur la période.

La forte baisse du facteur d'émission des porcins s'explique par une diminution de l'excrétion azotée avec la progression de l'alimentation biphase, et par l'augmentation de la part des systèmes lisier (pour lesquels le facteur d'émission de $N_2O$ est nul).

Pour les volailles, la baisse du facteur d'émission s'explique principalement par la diminution de l'excrétion azotée en lien avec le développement de l'alimentation multi phases. La variation des cheptels par sous-catégorie au sein de la catégorie agrégée « volailles » joue également sur l'évolution du facteur d'émission global, une partie de la baisse constatée pouvant s'expliquer par le recul du cheptel des dindes (catégorie présentant une excrétion azotée par tête élevée en comparaison d'autres catégories).

## 5.3.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données Ominea disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/fr/ominea/.

La méthode appliquée correspond à un rang 2 des lignes directrices du Giec.

Dans la méthode actuelle, les Systèmes de Gestion (SG) des déjections animales et les facteurs d'excrétion azotée sont issus de données nationales. De même, les valeurs prises par le paramètre Solides Volatiles (SV) pour les bovins, porcins, ovins et caprins sont tirés de projets nationaux. Les autres paramètres de calcul proviennent des lignes directrices du Giec.

Des travaux sont en cours et doivent être approfondis pour développer plus de paramètres nationaux afin de parvenir ainsi à une méthode de niveau 2 encore plus précise.

La méthode appliquée correspond à un rang 2 des lignes directrices EMEP du fait de la méthodologie appliquée, de la description fine des cheptels, de l'emploi de données nationales ou régionales pour les occurrences des modes de gestion des déjections et les facteurs d'excrétion azotée et de l'intégration de techniques de réduction des émissions.

Les émissions liées à la gestion des déjections sont traitées de manière différente selon les polluants concernés. Les principales données utilisées pour le calcul de ces émissions sont :

- Les cheptels (voir « Agriculture | Introduction », section « Cheptels »)
- Les systèmes de gestion des déjections (SGDA) (voir « Agriculture | Introduction », sections « Systèmes de gestion des déjections animales »)
- Les quantités d'azote et de solides volatils (SV) excrétées (voir « Agriculture | Introduction », section « Excrétions carbonées » et en annexe « A.2 Fermentation entérique des vaches laitières et estimation du SV » et « A.3 Fermentation entérique des autres bovins et estimation du SV »)
- Les facteurs d'émissions principalement issus du Giec 2019 [1229] et du guide EMEP / EEA 2023 [1338],
- Les taux d'application des pratiques de réduction d'émission de NH3 et les facteurs d'abattement associés.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de CO2 liées à la gestion des déjections correspondent au cycle court du carbone et ne sont pas rapportées dans les inventaires de gaz à effet de serre en cohérence avec les règles de la Convention climat.

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions de CH4 sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque espèce animale. Ceux-ci sont établis en utilisant la formule proposée par le Giec 2019 :

$$\mathrm{FE} = \mathrm{SV} \times 365 \times 0{,}67 \times \sum_i (FCM_i \times SG_i)$$

*Avec : Bo = Capacité de production maximale de CH4 (m3/kg de SV)*
*SV = Solides volatils excrétés (kg/jour)*
*FCM = facteur de conversion en CH4 (%)*

Ce calcul est effectué au niveau régional au sein du système PACRETE (Programme Access pour le Calcul Régionalisé des Emissions aTmosphériques de l'Elevage), décrit en section « Agriculture | Introduction ».

### Le paramètre SG

La méthodologie d'estimation des systèmes de gestion des déjections (selon les espèces : lisier sans croûte naturelle, lisier avec croûte naturelle, fumier en stockage solide, litière accumulée pendant plus d'un mois, litière accumulée pendant moins d'un mois, pâturage / parcours) est présentée dans la section « Agriculture | Introduction », commune à toutes les émissions de l'élevage.

Pour les bovins et les porcins, les effluents produits au bâtiment sont ensuite sous-divisés entre les effluents suivant la chaine « classique » (bâtiment, stockage, épandage), et ceux « à vocation méthanisation » (bâtiment, méthanisation, épandage).

En France, les pratiques de compostage des déjections existent, principalement pour les fumiers. Cependant, dans l'inventaire, ce système de gestion des déjections n'est actuellement pas rapporté séparément faute de données. Le travail est en cours pour identifier des sources de données potentiellement mobilisables. Ainsi, les fumiers qui seraient compostés sont actuellement comptabilisés parmi les autres systèmes de gestion. Il est difficile à l'heure actuelle d'identifier les systèmes qui comporteraient ces fumiers compostés, mais on peut imaginer qu'il s'agit principalement des systèmes en « stockage solide » et « autre » (fumier de volailles et litière accumulée) car ce sont les principaux types de fumiers susceptibles de subir un compostage.

### Le paramètre Bo

Le paramètre Bo prend les valeurs par défaut fournies par le Giec 2019 [1229]. Les valeurs prises par Bo sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 187 : Paramètres Bo utilisés dans l'inventaire**

| | Vaches laitières | Autres bovins | Porcins et truies | Caprins | Ovins | Chevaux | Mules et ânes | Poules pondeuses | Autres volailles | Lapines | Cervidés d'élevage |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bo | 0,24 | 0,18 | 0,45 | 0,18 | 0,19 | 0,30 | 0,33 | 0,39 | 0,36 | 0,32 | 0,19 |

Ces valeurs sont utilisées indépendamment du système de gestion des déjections considéré, exception faite de la pâture. En effet, le Giec 2019 fournit une valeur unique de Bo pour les systèmes pâture, identique quel que soit l'animal concerné. Cette valeur est de 0.19.

### Le paramètre FCM

Les paramètres FCM prennent les valeurs par défaut fournies par le Giec [1229], en faisant les correspondances avec les systèmes de gestion des déjections rencontrées en France suivantes :

**Tableau 188 : Correspondances FCM et systèmes de gestion**

<table>
<tr><th></th><th>Lisier sans croûte naturelle</th><th>Lisier avec croûte naturelle</th><th>Fumier</th><th>Litière accumulée</th><th>Pâture</th></tr>
<tr><td>Vaches laitières</td><td rowspan="6">Liquid/Slurry, and Pit storage below animal confinements - Retention time 6 months</td><td rowspan="3">Liquid/Slurry, and Pit storage below animal confinements - Retention time 6 months</td><td rowspan="6">Solid storage</td><td>Cattle and Swine deep bedding < 1 mois</td><td rowspan="9">Pasture / Range / Paddock</td></tr>
<tr><td>Autres bovins</td><td>Cattle and Swine deep bedding > 1 mois</td></tr>
<tr><td>Porcins</td><td rowspan="7"></td></tr>
<tr><td>Caprins</td><td rowspan="6"></td><td rowspan="6"></td></tr>
<tr><td>Ovins</td></tr>
<tr><td>Chevaux</td></tr>
<tr><td>Mules et ânes</td></tr>
<tr><td>Poules pondeuses</td><td rowspan="2">Poultry manure without litter</td><td rowspan="2">Poultry manure with litter</td></tr>
<tr><td>Autres volailles</td></tr>
<tr><td>Lapines reproductrices</td><td>MCF par défaut pour les lapins (0.01)</td><td>MCF par défaut pour les lapins (0.01)</td><td></td></tr>
</table>

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Cervidés d'élevage | | | | | Pasture / Range / Paddock |

Pour le lisier avec croûte naturelle, le Giec 2019 considère une réduction de 40 % des émissions en comparaison d'un lisier sans croûte naturelle. Cette réduction est appliquée directement au niveau de la valeur du FCM.

Les valeurs du FCM varient en fonction des climats. Les climats rencontrés en France sont présentés dans la section « Agriculture | Introduction ». Sont rencontrés :

- quatre climats différents en métropole : « cool temperate moist », « cool temperate dry », « warm temperate moist », « warm temperate dry » ;
- trois climats différents en outre-mer : « cool temperate moist », « tropical wet », « tropical moist »

**Tableau 189 : Valeurs de FCM retenues selon les climats**

| | cool temperate moist | cool temperate dry | warm temperate moist | warm temperate dry | tropical wet | tropical moist |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lisier sans croûte naturelle – 6 mois de stockage | 21 % | 26 % | 37 % | 41 % | 76 % | 73 % |
| Lisier avec croûte naturelle – 6 mois de stockage | 12,6 % | 15,6 % | 22,2 % | 24,6 % | 45,6 % | 43,8 % |
| Stockage solide | 2 % | 2 % | 4 % | 4 % | 5 % | 5 % |
| Litière accumulée < 1 mois | 2,75 % | 2,75 % | 6,5 % | 6,5 % | 18 % | 18 % |
| Litière accumulée > 1 mois | 21 % | 26 % | 37 % | 41 % | 76 % | 73 % |
| Fumier de volailles avec ou sans litière | 1,5 % | 1,5 % | 1,5 % | 1,5 % | 1,5 % | 1,5 % |
| Pâture/parcours | 0,47 % | 0,47 % | 0,47 % | 0,47 % | 0,47 % | 0,47 % |
| Méthanisation | 2,27 % | | | | NA | NA |

Les FCM, appliqués au niveau des régions, sont pondérés au prorata des surfaces présentées dans la section « Agriculture | Introduction ». Ces climats sont considérés stables sur la période d'inventaire (1990-2023).

**Prise en compte de la méthanisation des déjections animales :**

La méthanisation des déjections animales permet de réduire les émissions de CH4. Cette technique de réduction existe en France depuis 1990. La réduction des émissions grâce à la méthanisation est ici calculée pour les cheptels bovins et porcins uniquement, sur la base de la méthodologie Giec 2019 qui fournit désormais un FCM pour les digestats de méthanisation (Vol4, Ch10, Table 10A.11). Le FCM retenu pour les effluents méthanisés est de 2,27 %[28] qui dépend de la qualité du digesteur (taux de fuite), du mode de stockage des digestats et de la zone climatique.

- **Qualité du digesteur :** les digesteurs sont considérés comme de haute qualité avec des taux de fuite inférieurs à 1 % en moyenne ($L_{dig}$ <0,01) ce qui est cohérent avec le taux d'émissions fugitives de 0,5 % fixé au sein de l'ACV Inrae [1295] sur le biométhane qui recense plusieurs références sur le sujet (la littérature recense toutefois des valeurs comprises entre 0,1 % et 5 % du biogaz).
- **Mode de stockage des digestats :** Le mode de stockage des digestats ($L_{sto,gt}$) n'est pas recensé dans les statistiques françaises à notre connaissance. Les prescriptions réglementaires associées aux installations de méthanisation (ICPE 2781) soumises à enregistrement ou autorisation (>30t / j) indiquent que les fosses doivent être couvertes[29]. En absence d'information précise le choix a été fait de retenir la valeur moyenne proposé par le Giec. Un travail d'expertise pourrait permettre d'affiner les choix.
- **Zone climatique :** Nous avons retenu la valeur de la zone climatique « tempérée ».

[28]High quality biogas digester, Average storage gastight level, temperate climate zone

[29]Arrêté du 12 août 2010 (NOR : DEVP1020761A) : « Les ouvrages de stockage des digestats solides et liquides sont couverts. Cette disposition ne s'applique pas pour le digestat solide stocké en bout de champ moins de 24 heures avant épandage, ni aux lagunes de stockage de digestat liquide ayant subi un traitement de plus de 80 jours. »

Volumes d'effluents animaux méthanisés : Comme décrit en section « Agriculture | Introduction », pour les bovins et les porcins, les effluents produits au bâtiment sont sous-divisés entre le devenir « classique » (effluent partant au stockage), et les effluents à vocation méthanisation. On connait ainsi la répartition des places par espèce et par ancienne région, entre ces différents types de systèmes.

Pour estimer la part des animaux concernés par la méthanisation, plusieurs données sont utilisées et plusieurs pré-traitements sont effectués. Ces traitements sont présentés en section « Agriculture | Introduction », au niveau de la section « Méthanisation agricole ». L'ensemble des données liées aux méthaniseurs est compilé de manière fine région par région. Ces traitements aboutissent à une estimation du nombre de places méthanisées par région, pour le lisier (avec et sans croûte) d'une part, le fumier et la litière accumulée d'autre part pour les catégories suivantes : vaches laitières, autres bovins, truies, autres porcins.

***Emissions de $N_2O$***

La méthode de niveau 2 des lignes directrices du Giec [1229] estime les trois sources d'émissions de N2O de l'élevage :

- les émissions directes au bâtiment et au stockage,
- les émissions indirectes liées à la volatilisation de NH3 et NOx au bâtiment et au stockage,
- les émissions indirectes liées aux pertes d'azote par ruissellement et lessivage au stockage.

**Les émissions directes**

Les émissions directes sont calculées selon l'équation 10.25 des lignes directrices du Giec 2019 [1229]. Ces émissions sont basées sur :

- l'excrétion azotée des animaux (voir« Agriculture | Introduction », section « Excrétions azotées » ) ;
- les modalités de gestion des déjections (voir « Agriculture | Introduction », sections « Systèmes de gestion des déjections animales ») ;
- les facteurs d'émissions par défaut des lignes directrices du Giec 2019 [1229].

Le calcul effectué est le suivant :

$$N_2O_{directes} = \sum_{t,i}\left(N_t \times Fex_{t,i} \times SG_{t,i} \times FE_{t,i} \times \frac{44}{28}\right)$$

*Avec :* $N_{t,i}$ *= Nombre de têtes de la catégorie animale t ;*
$Fex_{t,i}$ *= Excrétion azotée annuelle de la catégorie animale t gérée en système i ;*
$SGt,i$ *= Part des animaux de la catégorie t gérés selon le système de gestion des déjection i ;*
$FE_{t,i}$ *= Facteur d'émission pour le système de gestion i de la catégorie animale t.*

Pour le choix des facteurs d'émission, les correspondances suivantes ont été effectuées avec les systèmes de gestion des déjections « classiques » (hors méthanisation) rencontrés en France :

**Tableau 190 : Correspondances facteurs d'émission et systèmes de gestion**

<table>
<tr><th></th><th>Lisier sans croûte naturelle</th><th>Lisier avec croûte naturelle</th><th>Fumier</th><th>Litière accumulée</th><th>Pâture</th></tr>
<tr><td>Vaches laitières</td><td rowspan="5">Liquid/Slurry without natural crust cover<br>0 kgN-N<sub>2</sub>O/kgNex</td><td>Liquid/Slurry with natural crust cover<br>0,005 kgN-N<sub>2</sub>O/kgNex</td><td rowspan="3">Solid storage<br>0,01 kgN-N<sub>2</sub>O/kgNex</td><td>Cattle and swine deep bedding - No mixing<br>0,01 kgN-N<sub>2</sub>O/kgNex</td><td rowspan="8">Emissions traitées dans la section « Sols agricoles – 3D »</td></tr>
<tr><td>Autres bovins</td><td rowspan="6"></td><td rowspan="7"></td></tr>
<tr><td>Porcins</td></tr>
<tr><td>Caprins</td><td rowspan="2">Poultry manure with litter<br>0,001 kgN-N<sub>2</sub>O/kgNex</td></tr>
<tr><td>Ovins</td></tr>
<tr><td>Chevaux</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Mules et ânes</td></tr>
<tr><td>Poules pondeuses</td><td rowspan="2">Poultry manure without litter<br>0,001 kgN-N<sub>2</sub>O/kgNex</td></tr>
<tr><td>Autres volailles</td></tr>
<tr><td>Lapines reproductrices</td><td>Liquid/Slurry without natural crust cover<br>0 kgN-N<sub>2</sub>O/kgNex</td><td>Solid storage<br>0,01 kgN-N2O/kgNex</td></tr>
<tr><td>Cervidés d'élevage</td><td></td><td></td></tr>
</table>

Pour les effluents méthanisés, le Giec 2019 donne un facteur d'émission à 0,0006 kg N-N2O/kg N excrété.

Les émissions indirectes liées à la volatilisation sont calculées selon l'équation 10.28 des lignes directrices du Giec 2019 [1229] :

$$\mathrm{N_2O}_{indirectes_volat} = \mathrm{N}_{volatilisation} \times \mathrm{FE}_4 \times \frac{44}{28}$$

*Avec :* *$N_{volatilisation}$ = Quantité d'azote des déjections perdue en raison de la volatilisation du $NH_3$ et du $NO_X$ (kgN/an) ;*
*$FE_4$ = Facteur d'émission du Giec pour les émissions de $N_2O$ dues au dépôt atmosphérique d'azote sur les sols et des surfaces aquatiques (kg N-$N_2O$/(kg N-$NH_3$ + kg N-$NO_X$))*

La quantité d'azote des déjections perdue en raison de la volatilisation du NH3 et du NOx correspond à la somme des émissions suivantes :

$$\mathrm{N}_{volatilisation} = N\text{-}NH_{3_{Bâtiment}} + N\text{-}NH_{3_{Stockage}} + N\text{-}NO_{X_{Stockage}}$$

Ces émissions d'azote sous forme de $NH_3$ et $NO_X$ sont calculées conformément à la méthode EMEP/EAA 2023 [1338], détaillée en sections « Emissions de $NH_3$ » et « Emissions de $NO_X$ » plus bas. Ces explications sont également reprises dans le rapport UNECE.

Le facteur d'émission utilisé est tiré du Giec [1229] et varie selon le climat :

- En climat humide : $FE_4$ = 0,014 kg N-$N_2O$ / (kg N- $NH_3$ +kg N-$NO_X$ ) ;
- En climat sec : $FE_4$ = 0,005 kg N-$N_2O$/ (kg N- $NH_3$ +kg N-$NO_X$ ).

**Les émissions indirectes liées aux pertes d'azote par ruissellement et lessivage**

Les émissions indirectes liées aux pertes d'azote par ruissellement et lessivage sont calculées selon l'équation 10.29 des lignes directrices du Giec 2019 [1229].

$$N_2O_{indirectes_lixiv} = \mathrm{N}_{lixiv} \times FE_5 \times \frac{44}{28}$$

*Avec :* *$N_{lixiv}$ = Quantité d'azote des déjections lessivée (kgN/an) des systèmes de gestion solide (stockage solide et litière accumulée)*
*$FE_5$ = Facteur d'émission du GIEC pour les émissions de $N_2O$ de l'azote de lixiviation et écoulements (kg N-$N_2O$/kg N lessivé et écoulé).*

La quantité d'azote du fumier lessivée est calculée conformément à la méthode EMEP/EAA 2023 [1338], détaillée en section « Emissions de $NH_3$ » ainsi que dans le rapport UNECE.

Attention : on ne comptabilise pas d'émission indirecte de $N_2O$ liée au lessivage pour les effluents méthanisés.

Le facteur d'émission utilisé est tiré du Giec [1229] : $FE_5$ = 0,011 kg N-$N_2O$/kg N lessivé et écoulé.

***Emissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

***Emissions de NOx***

Les émissions de NOx (NO exprimé en équivalent $NO_2$) issues du stockage des déjections sont mal connues. Ces émissions sont estimées conformément à la méthodologie EMEP/EAA 2023 [1338].

La méthodologie EMEP distingue deux types d'effluents : liquide et solide. Ci-dessous la correspondance avec les systèmes de gestion décrits en section « Agriculture | Introduction » au niveau des « Systèmes de gestion des déjections animales » (SGDA) :

**Tableau 191 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion**

| | Lisier sans croûte naturelle | Lisier avec croûte naturelle | Fumier | Litière accumulée |
|---|---|---|---|---|
| Correspondance EMEP | Liquide | Liquide | Solide | Solide |

Les émissions de NOx (NO exprimé en équivalent $NO_2$), sont calculées comme suit :

$$\mathrm{NO}_2 = \left(\mathrm{TAN}_{\mathrm{stock_liquide}} \times \mathrm{FE}_{\mathrm{stockage_NOliquide}} + \mathrm{TAN}_{\mathrm{stock_solide}} \times \mathrm{FE}_{\mathrm{stockage_NOsolide}}\right) \times \frac{46}{14}$$

*Avec :* *$TAN_{stock_liquide}$ = Quantité d'azote ammoniacal totale stockée par catégorie animale, gérée en système liquide ;*
*$TAN_{stock_solide}$ = Quantité d'azote ammoniacal totale stockée par catégorie animale, gérée en système solide ;*
*$FE_{stockage_NOliquide}$ = 0,0001 kg N-NO/kg TANstock ;*
*$FE_{stockage_NOsolide}$ = 0,01 kg N-NO/kg TANstock.*

Les facteurs d'émission utilisés correspondent aux facteurs d'émission par défaut tirés d'EMEP 2019 (Tableau 3-10) et varient selon les modes de gestion des déjections animales (liquide et solide). Ces facteurs d'émission sont exprimés par unité d'azote ammoniacal stocké, dont le calcul est détaillé dans la section « Emissions de NH3 ».

***Emissions de $NH_3$***

L'agriculture contribue à la quasi-totalité des émissions d'ammoniac en France, principalement du fait de la gestion des déjections animales (bâtiment, stockage, épandage et pâture) et de la fertilisation minérale.

La méthodologie d'estimation des émissions d'ammoniac de l'élevage est basée sur l'approche Tier 2 développée dans le guide EMEP/EEA 2023 [1338]. Toutefois, l'approche développée dans PACRETE pour les inventaires français va parfois plus loin, en utilisant une catégorisation animale plus détaillée que celle d'EMEP pour l'azote excrété.

Par ailleurs, certaines techniques de réduction des émissions de $NH_3$ sont intégrées dans le calcul et leur mode de prise en compte dans l'inventaire est détaillé dans l'annexe « A.4 Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction » et « A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage » :

- Lavage d'air dans les bâtiments porcins,
- Couverture de fosse des lisiers,
- Traitement des lisiers porcins par nitrification-dénitrification,
- Epandage avec des matériels peu émissifs et enfouissement rapide des déjections.

Les travaux pour améliorer l'intégration de ces pratiques de réduction d'émission de $NH_3$ vont se poursuivre afin de refléter au mieux l'évolution des pratiques du secteur.

La méthodologie EMEP est basée sur les flux d'azote ammoniacal (TAN) et organique pendant la gestion des déjections. Les émissions sont estimées au bâtiment, au stockage, à l'épandage et au pâturage (au parcours pour les porcins et les volailles). Cette méthode prend en compte également les pertes d'azote sous forme de $N_2$, NO et $N_2O$ au bâtiment et au stockage, et les apports d'azote par la paille.

Les émissions totales de $NH_3$ correspondent à la somme des émissions des différents postes :

$$NH_{3_{total}} = NH_{3_{bâtiment}} + NH_{3_{stockage}} + NH_{3_{épandage}} + NH_{3_{pâture}}$$

Cependant, les émissions sont rapportées dans des catégories différentes :

- $NH_{3\ Bâtiment}$ : émissions rapportées en « Gestion des déjections animales » ;
- $NH_{3\ Stockage}$ : émissions rapportées en « Gestion des déjections animales » ;
- $NH_{3\ Epandage}$ : émissions rapportées en « Sols agricoles » ;
- $NH_{3\ Pâture}$ : émissions rapportées en « Sols agricoles » .

Viennent également s'ajouter des émissions de $NH_3$ pour les effluents méthanisés, liées au pré-stockage des effluents avant méthanisation, et au stockage des produits sortant. Ces émissions sont rapportées en 5B2 mais les calculs sont décrits dans cette section.

Malgré ces rapportages différenciés, nous allons ici décrire les différentes équations utilisées pour estimer ces flux d'azote, en partant du bâtiment pour arriver jusqu'à l'épandage.

Au bâtiment, la méthodologie EMEP distingue deux types d'effluents : liquide et solide. Ci-dessous la correspondance avec les systèmes de gestion décrits en section « Agriculture | Introduction » :

**Tableau 192 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion**

| | Lisier sans croûte naturelle | Lisier avec croûte naturelle | Fumier | Litière accumulée |
|---|---|---|---|---|
| Correspondance EMEP | Liquide | Liquide | Solide | Solide |

Les schémas ci-dessous résument le suivi de l'azote sur la chaîne bâtiment/stockage/épandage, en gestion liquide et en gestion solide.

A noter : les chiffres indiqués dans les étoiles correspondent aux techniques de réduction des émissions de NH3 suivantes : (1) Lavage d'air en bâtiments (porcins) ; (2) traitement des lisiers porcins par nitrification-dénitrification ; (3) couverture de fosse des lisiers (bovins, porcins, ovins, caprins) ; (4) matériel et délais d'épandage permettant la réduction des émissions.

**Figure 169 : Suivi de l'azote en gestion liquide**

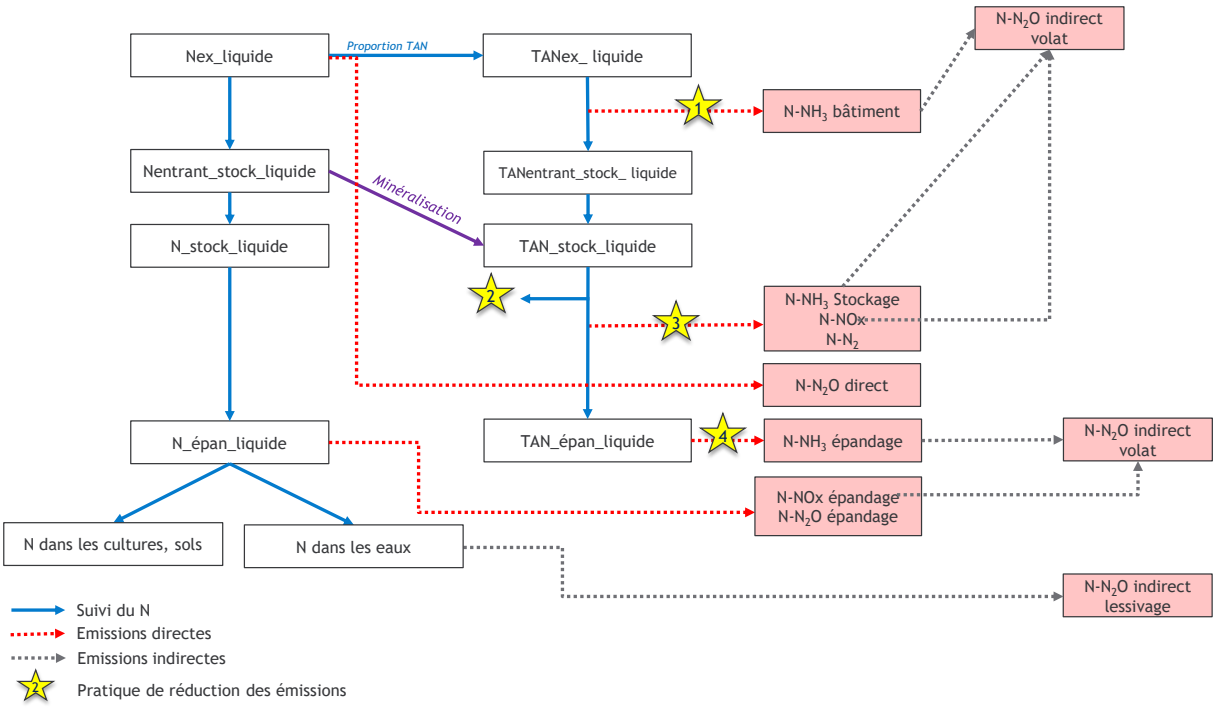
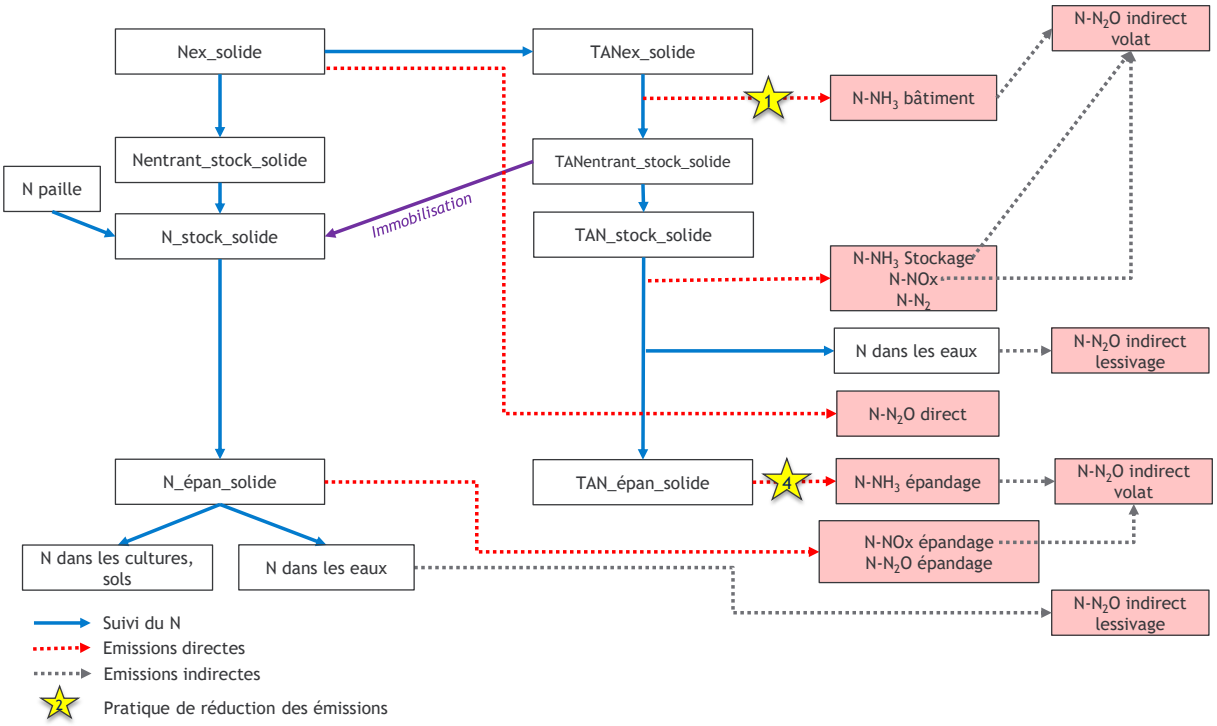



**Figure 170 : Suivi de l'azote en gestion solide**




Pour les effluents méthanisés, le suivi diffère légèrement. Les schémas ci-dessous résument le suivi de l'azote sur la chaîne bâtiment/méthanisation/épandage, en gestion liquide et en gestion solide.

**Figure 171 : Suivi de l'azote en gestion liquide avec méthanisation**

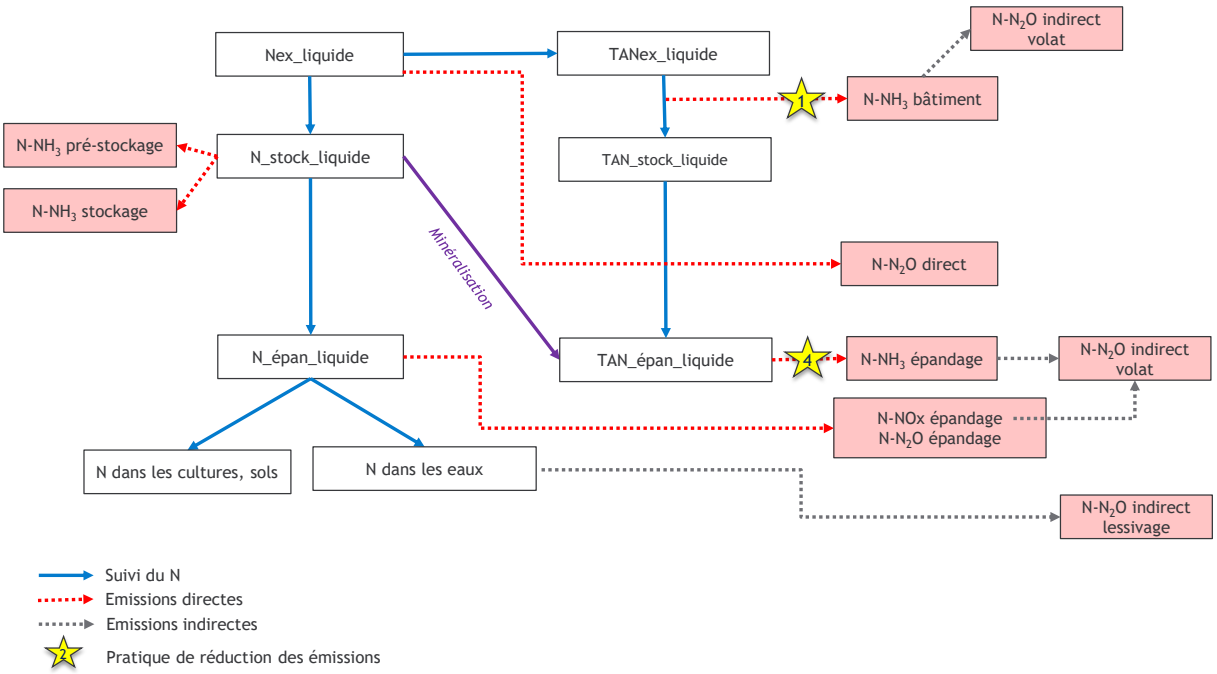
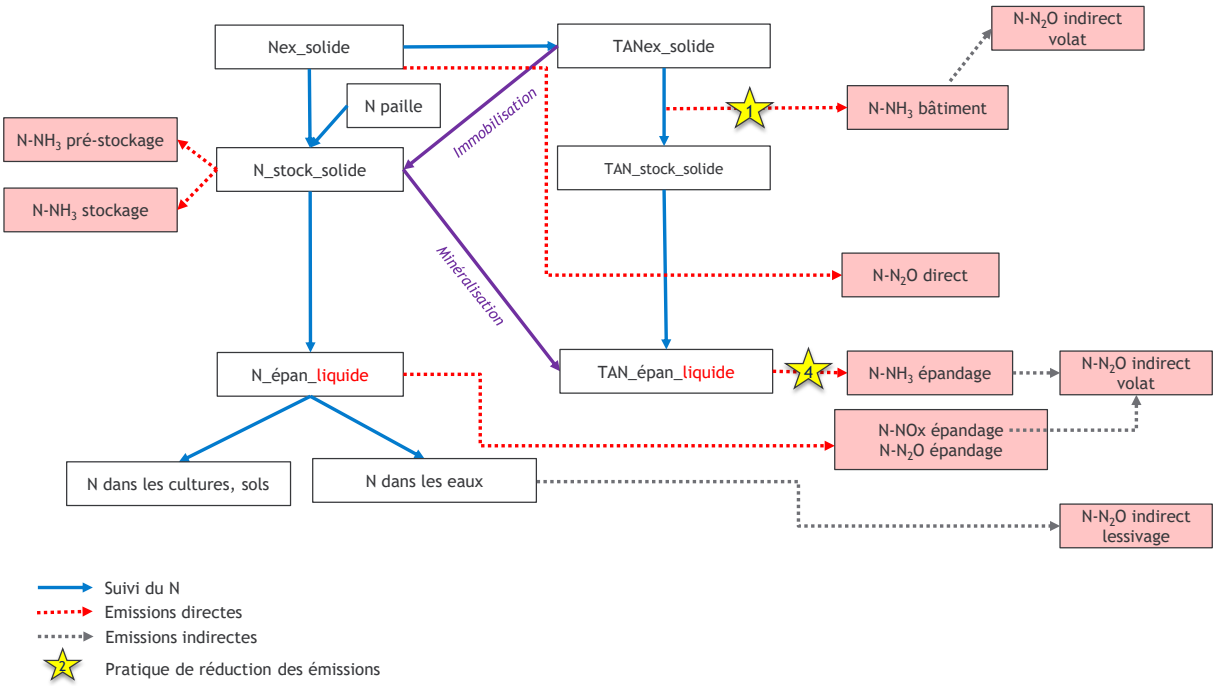



**Figure 172: Suivi de l'azote en gestion solide avec méthanisation**




### $NH_3$ - Poste Bâtiment

La première étape consiste à évaluer l'azote excrété, par catégorie animale, par système de gestion des déjections, à partir de l'équation suivante :

$$N_{ex_i} = Population_{totale} \times SG_i \times F_{ex}$$

*Avec :* *$Nex_i$ = Quantité d'azote totale excrétée par une catégorie animale pour le système de gestion des déjections i (kgN) ;*
*$Population_{totale}$ = Cheptel de la catégorie concernée (tête) ;*
*$SG_i$ = part de la population gérée en système de gestion des déjections i*
*Fex = facteur d'excrétion azotée pour la catégorie concernée (kgN/tête)*

Les Fex sont nationaux et sont présentés en section « Agriculture | Introduction ».

L'azote excrété est ensuite converti en azote ammoniacal (TAN) :

$$TAN_{ex_i} = N_{ex_i} \times TAN$$

*Avec :* $N_{ex_i}$ *= Quantité d'azote totale excrétée par une catégorie animale pour le système de gestion des déjections i (kgN) ;*
*TAN = Proportion d'azote ammoniacal*

Les paramètres TAN varient selon les catégories animales et prennent les valeurs par défaut proposées par EMEP 2019, à l'exception de la catégorie équins pour laquelle les valeurs sont tirées d'une publication nationale [473]. La catégorie « cervidés d'élevage » se voit attribuer la même valeur que celle de la catégorie « ovins » faute de données disponibles.

**Tableau 193 : Tableau récapitulatif des proportions de TAN utilisées par catégorie animale**

| | TAN (part du Nex) |
|---|---|
| Vaches laitières | 0,60 |
| Autres bovins | 0,60 |
| Porcins et truies | 0,70 |
| Caprins | 0,50 |
| Ovins | 0,50 |
| Equins | 0,55 |
| Volailles | 0,70 |
| Lapines reproductrices | 0,60 |
| Cervidés d'élevage | 0,50 |

C'est à partir de l'azote ammoniacal qu'est calculé l'azote volatilisé en $NH_3$ au bâtiment, selon l'équation suivante :

$$N\text{-}NH_{3_{Bâtiment}} = \sum_i \{Frac_{Air_i} \times (TAN_{ex_i} \times FE_{Bâtiment\ i} \times FA_{Air}) + (1 - Frac_{Air\ i}) \times (TAN_{ex_i} \times FE_{Bâtiment_i})\}$$

*Avec :* $Frac_{Air_i}$ *: part des animaux de la catégorie i gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air (ratio) ;*
$FE_{Bâtiment_i}$*: Facteur d'émission de $NH_3$ au bâtiment (kg N-$NH_3$/kg TAN) pour les animaux de la catégorie i;*
$FA_{Air}$*: facteur d'ajustement associé au lavage d'air (ratio).*

L'estimation du paramètre $Frac_{Air}$, représentant la part des animaux gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air, est présentée en annexe « A.4 Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction ». Pour rappel, le traitement de l'air est renseigné uniquement pour les porcins.

La valeur du paramètre $FA_{Air}$, représentant le facteur d'ajustement associé au lavage d'air, a été estimée à partir des données d'une enquête sur les laveurs d'air en Bretagne en 2015 [995]. La valeur retenue est une réduction des émissions de $NH_3$ de 30%, ce qui signifie un facteur d'ajustement du facteur d'émission égal à 70 %. (NB : facteur d'ajustement = 1 – facteur de réduction)

Les facteurs d'émission de $NH_3$ au bâtiment prennent les valeurs par défaut proposées par EMEP 2023 [1338], à l'exception de certaines catégories de volailles pour lesquelles une réflexion a été menée pour adapter les facteurs par défaut, jugés non représentatifs des élevages avicoles français. Les modifications suivantes ont été apportées :

Poules pondeuses : le facteur d'émission par défaut EMEP a été adapté pour tenir compte de la cinétique d'hydrolyse de l'acide urique en azote ammoniacal [800], ralentie par la mise en place de certains systèmes de gestion des déjections spécifiques (tapis de pré-séchage, sécheur extérieur) dont le développement en France est connu et fourni par l'Institut Technique de l'Aviculture (ITAVI).

Poulets de chair, dindes, pintades et cailles : des facteurs d'émissions spécifiques ont été développés par l'ITAVI pour le compte de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) [801].

Les facteurs d'émission par catégorie et système de gestion des déjections sont répertoriés dans le tableau suivant.

A noter : Pour les poules pondeuses et les poulettes, le facteur d'émission recalculé varie dans le temps du fait de la progression des systèmes de gestion des déjections entrainant des réductions. De même, le facteur d'émission des poulets de chair varie dans le temps car cette catégorie est composée de plusieurs productions (standard, export, lourd) présentant des facteurs d'émission différents. Les valeurs fournies dans le tableau correspondent à la plage 1990-2023.

**Tableau 194 : Facteurs d'émission de N-NH3 au bâtiment**

| | | FE N-NH3 Liquide (kg N-NH3/TANex) | FE N-NH3 Solide (kg N-NH3/TANex) |
|---|---|---|---|
| Vaches laitières | | 0,24 | 0,08 |
| Autres bovins | | 0,24 | 0,08 |
| Porcins | Porcelets non sevrés (<8kg) | 0,27 | 0,23 |
| | Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg) | 0,27 | 0,23 |
| | Verrats de 50 kg et plus | 0,35 | 0,24 |
| | Porcs à l'engrais (>30kg) | 0,27 | 0,23 |
| Truies de 50 kg et plus | | 0,35 | 0,24 |
| Caprins | | 0,22 | 0,22 |
| Ovins | | 0,22 | 0,22 |
| Chevaux | | - | 0,22 |
| Mules et ânes | | - | 0,22 |
| Volailles | Poules pondeuses d'œufs à couver | - | 0,20 - 0,16 |
| | Poules pondeuses d'œufs de consommation | - | 0,20 - 0,16 |
| | Poulettes | - | 0,20 - 0,16 |
| | Poulets de chair (y compris coqs et coquelets) | - | 0,14 - 0,15 |
| | Canards à gaver | 0,24 | 0,24 |
| | Canards à rôtir | 0,24 | 0,24 |
| | Dindes et dindons (au 1er octobre) | | 0,19 |
| | Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver) | 0,57 | 0,57 |
| | Pintades | | 0,19 |
| | Cailles d'élevage | | 0,19 |
| Autres | Lapines reproductrices | 0,27 | 0,27 |
| | Cervidés d'élevage* | - | - |
| * gestion uniquement à la pâture | | | |

Les émissions de $NH_3$ au bâtiment sont obtenues de la façon suivante :

$$NH_{3_{Bâtiment}} = N\text{-}NH_{3_{Bâtiment}} \times \frac{17}{14}$$

### $NH_3$ - Poste Stockage – pour les effluents hors méthanisation

Les facteurs d'émission fournis dans EMEP sont toujours basés sur l'azote ammoniacal et par conséquent, il est important de suivre les transferts entre azote ammoniacal et azote organique.

Le suivi de l'azote total et de l'azote ammoniacal entrant au stockage est calculé de la manière suivante :

$$TAN_{entrant_stock\ i} = TAN_{ex_i} - N\text{-}NH_{3_{Bâtiment\ i}}$$

$$N_{entrant_stock\ i} = N_{ex_i} - N\text{-}NH_{3_{Bâtiment\ i}}$$

*L'indice i distingue la gestion solide de la gestion liquide.*

Pendant le stockage des effluents liquides, une partie de l'azote organique est minéralisée et rejoint le réservoir d'azote ammoniacal. Ce transfert est traduit par l'équation suivante :

Liquide :
$$\mathrm{TAN}_{\mathrm{stock\ i}} = \mathrm{TAN}_{\mathrm{entrant_stock\ i}} + \left(\mathrm{N}_{\mathrm{entrant_stock\ i}} - \mathrm{TAN}_{\mathrm{entrant_stock\ i}}\right) \times \mathrm{F}_{\mathrm{min}} \qquad \textit{(équation a)}$$

*Avec : $F_{min}$ = Facteur de minéralisation par défaut proposé par EMEP 2019 (=0,1).*

On considère que le phénomène de minéralisation a lieu pour l'ensemble des effluents liquides. En particulier, pour les lisiers porcins, ce phénomène est pris en compte avant le départ d'une partie des lisiers vers les stations de nitrification dénitrification. Le calcul de l'azote résorbé dans ces stations est présenté en annexe « A.4 Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction ». Cet azote est estimé au niveau national, pour l'ensemble des catégories porcines. On fait l'hypothèse que tout l'azote résorbé est de l'azote ammoniacal.

La prise en compte de ce traitement implique de faire sortir l'azote résorbé du suivi de l'azote à partir duquel sont estimées les émissions. Pour cela, l'azote résorbé au niveau national toutes catégories porcines confondues est réparti au prorata de la contribution en $TAN_{stock}$

de chaque catégorie porcine, pour chaque région, aux quantités nationales de $TAN_{stock}$ pour l'ensemble de la catégorie porcine. Cette estimation est une première approximation qui pourra être améliorée par la suite.

$$Frac_{reg,\,animal} = \frac{TAN_{stock\ reg,\,animal}}{TAN_{stock\ national,\,porcs}}$$

*Avec :* $TAN_{stock_{reg,\,animal}}$ *: quantité d'azote ammoniacal au stockage pour l'animal concerné, pour la région concernée ;*
$TAN_{stock\ national,\,porcs}$*: quantité d'azote ammoniacal au stockage toutes catégories porcines confondues, au niveau national.*

L'équation (a) présentée ci-dessus s'applique à l'ensemble des catégories animales, à l'exception donc des porcins qui se voient appliquer l'équation (b) ci-dessous :

Liquide : $TAN_{stock\ i} = \{TAN_{entrant_stock\ i} + (N_{entrant_stock\ i} - TAN_{entrant_stock\ i}) \times F_{min}\} - N_{resorb} \times Frac_{reg,\,animal}$ *(équation b)*

*Avec :* $N_{resorb}$ *= Quantité d'azote résorbée au niveau national, toutes catégories porcines confondues (kgTAN/an) ;*
$Frac_{reg,\,animal}$ *= Part de l'azote ammoniacal de l'animal concerné, pour la région concernée, par rapport à l'azote ammoniacal national total toutes catégories porcines confondues.*

Pour les systèmes solides, la présence de paille favorise l'assimilation de l'azote par les micro-organismes de la litière. Ce transfert est traduit par l'équation suivante :

Solide :

$$TAN_{stock\ i} = TAN_{entrant_stock\ i} - Paille \times F_{imm}$$

$$N_{stock\ i} = N_{entrant_stock\ i} + Paille \times T_{MS} \times T_N$$

*Avec :* *Paille = quantité de paille apportée (tonnes de matière fraiche) ;*
$F_{imm}$ *= Facteur d'immobilisation par défaut proposé par EMEP 2023 (= 0,0067 kg/ kg de matière fraiche) ;*
$T_{MS}$ *= taux de matière sèche contenue dans la paille (kg matière sèche/kg matière fraiche) ;*
$T_N$ *= taux d'azote contenu dans la paille (kg N/kg de matière sèche).*

Les quantités de paille apportées par catégorie animale sont présentées en section « Agriculture | Introduction », au niveau de la définition des systèmes de gestion des déjections animales. Le taux d'azote contenu dans la paille ainsi que le taux de matière sèche proviennent des données de l'Inrae [658].

Il faut noter que pour les volailles, l'immobilisation de l'azote ammoniacal par la litière n'a pas été prise en compte car il a été considéré que les facteurs d'émissions d'EMEP 2023 correspondent déjà à un fumier de volailles pour lequel une partie importante de l'azote ammoniacal a été assimilée par les micro-organismes de la litière.

Une fois les transferts liés à la minéralisation et à l'immobilisation effectués, l'azote volatilisé en NH3 au stockage est calculé selon l'équation suivante :

$$N\text{-}NH_{3_{Stockage}} = \sum_i \{Frac_{couv\ i} \times TAN_{stock\ i} \times FE_{stock\ i} \times FA_{couv} + (1 - Frac_{couv\ i}) \times TAN_{stock\ i} \times FE_{stock\ i}\}$$

*Avec :* $Frac_{couv\ i}$ *= part des liquides stockés dans des fosses couvertes (ratio) ;*
$FE_{stock\ i}$ *= facteur d'émission de NH3 au stockage (kg N-NH3/kg TAN) ;*
$FA_{couv}$ *= facteur d'ajustement associé à la couverture de fosse (ratio).*

L'estimation du paramètre $Frac_{couv}$, représentant la part des liquides stockés en fosse couverte est présentée en annexe « A.4 Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction ». Pour rappel, la couverture de fosse est renseignée uniquement pour les bovins, les porcins, les ovins et les caprins.

La valeur du paramètre $FA_{couv}$ , représentant le facteur d'ajustement associé à la couverture de fosse, est tirée du document d'orientation de l'UNECE [809]. La valeur retenue est celle associée à la modalité couverture flottante (en anglais « Plastic sheeting (floating cover) »). La réduction d'émission de $NH_3$ associée à cette modalité est estimée à 60%, ce qui signifie un facteur d'ajustement du facteur d'émission égal à 40%. (NB : facteur d'ajustement = 1 – facteur de réduction).

Les facteurs d'émission de $NH_3$ au stockage prennent les valeurs proposées par EMEP 2023.

**Tableau 195 : Facteurs d'émission de N-$NH_3$ au stockage**

| | | FE N-NH3 Liquide (kg N-NH3/TANstock) | FE N-NH3 Solide (kg N-NH3/TANstock) |
|---|---|---|---|
| Vaches laitières | | 0,25 | 0,32 |
| Autres bovins | | 0,25 | 0,32 |
| Porcins et truies | | 0,11 | 0,29 |
| Caprins | | 0,28 | 0,28 |
| Ovins | | 0,32 | 0,32 |
| Chevaux | | - | 0,35 |
| Mules et ânes | | - | 0,35 |
| Volailles | Poules pondeuses d'œufs à couver | - | 0,08 |
| | Poules pondeuses d'œufs de consommation | - | 0,08 |
| | Poulettes | - | 0,08 |
| | Poulets de chair (y compris coqs et coquelets) | - | 0,30 |
| | Canards à gaver | 0,24 | 0,24 |
| | Canards à rôtir | 0,24 | 0,24 |
| | Dindes et dindons (au 1er octobre) | - | 0,24 |
| | Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver) | 0,16 | 0,16 |
| | Pintades | - | 0,24 |
| | Cailles d'élevage | - | 0,24 |
| Autres | Lapines reproductrices | 0,09 | 0,09 |
| | Cervidés d'élevage* | - | - |
| * gestion uniquement à la pâture | | | |

Les émissions de $NH_3$ au stockage sont obtenues de la façon suivante :

$$NH_{3_{Stockage}} = N\text{-}NH_{3_{Stockage}} \times \frac{17}{14}$$

D'autres émissions de composés azotés ($N_2O$, $N_2$, $NO_X$) ont lieu durant le stockage, émissions qu'il est important de comptabiliser ici pour le suivi de l'azote.

Les émissions de $N_2O$ directes sont estimées conformément au Giec 2019. La méthodologie est détaillée plus haut, dans la section « Emissions de $N_2O$ ».

Les émissions de $N_2$ sont estimées conformément à la méthodologie EMEP 2023, à partir de l'équation suivante :

$$N\text{-}N_2 = TAN_{stock\ i} \times FE_{N_2}$$

*Avec :* $FE_{N_2}$ *= Facteur d'émission de* $N_2$ *au stockage (kg N-*$N_2$*/kg TAN).*

Les facteurs d'émission utilisés correspondent aux valeurs par défaut tirées d'EMEP 2023 et varient selon les modes de gestion des déjections animales (liquide et solide) :

- $FE_{stockage_N_2_liquide}$ = 0,003 kg N-$N_2$/kg $TAN_{stock}$ ;
- $FE_{stockage_N_2_solide}$ = 0,3 kg N-$N_2$/kg $TAN_{stock}$ .

Les émissions de NOx sont estimées conformément à la méthodologie EMEP 2019, à partir de l'équation suivante. Le calcul détaillé est situé à la section « Emissions de NOx ».

$$N\text{-}NO_X = TAN_{stock\ i} \times FE_{NO}$$

Enfin, il faut également estimer les quantités d'azote lixivié et écoulé au cours du stockage. Pour rappel, c'est à partir de ces quantités d'azote lessivé et écoulé que sont calculées les émissions indirectes de N2O liées à la lixiviation. D'après la méthodologie EMEP 2019, le lessivage de l'azote n'a lieu que pour les systèmes de gestion des déjections solide, à hauteur de 12 % du TAN stocké. Le calcul est effectué selon l'équation suivante :

$$N_{lessivé} = TAN_{stock\ i} \times Part_{N_{lixiv}}$$

*Avec* : $Part_{N_lixiv}$ *= Part du TAN stocké partant dans les eaux.*

**$NH_3$ – Poste Stockage – Effluents et cosubstrats méthanisés**

Pour les effluents partant en méthanisation, la méthodologie à suivre diffère légèrement. Les facteurs d'émission sont issus du chapitre 5B2 d'EMEP 2023 [1145], Tables 3.2 et 3.3. Contrairement aux facteurs d'émission classiquement utilisés, ces facteurs d'émission sont basés sur l'azote total. Pour les effluents d'élevage, il est cependant important de continuer à suivre l'azote total et l'azote ammoniacal.

Pour les cosubstrats (CIVE, résidus de culture, déchets d'IAA…), l'azote total est calculé sur la base des quantités totales estimées dans le paragraphe « Méthanisation agricole » et en utilisant les teneurs en azote EMEP 2023 :

Liquide :
$$TAN_{stock_liquide} = TAN_{ex_liquide} - N\text{-}NH_{3_{Bâtiment_liquide}}$$
$$N_{stock_liquide} = N_{ex_liquide} - N\text{-}NH_{3_{Bâtiment_liquide}}$$

Solide :
$$TAN_{stock_solide} = TAN_{ex_solide} - N\text{-}NH_{3_{Bâtiment_solide}} - Paille \times F_{imm}$$
$$N_{stock_solide} = N_{ex_solide} - N\text{-}NH_{3_{Bâtiment_solide}} + Paille \times T_{MS\ paille} \times T_{N\ paille}$$

Cosubstrats :
$$N_{stock_cosubstrats} = Q_{cosubstrats} \times T_{N\ cosubstrats}$$

*Avec :* Paille = *quantité de paille apportée (tonnes de matière fraiche) ;*
$F_{imm}$ = *facteur d'immobilisation par défaut proposé par EMEP 2023 (= 0,0067 kg/ kg de matière fraîche)*
$T_{MS\ paille}$ = *taux de matière sèche contenue dans la paille (kg matière sèche/kg matière fraiche) ;*
$T_{N\ paille}$ = *teneur en azote de la paille (kg N/kg de matière sèche)*
$Q_{cosubstrats}$ = *Quantité de cosubstrats méthanisés en (tonnes de matière fraîche)*
$T_{N\ cosubstrats}$ = *teneur en azote des cosubstrats (kg N/kg de matière brute)*

Les émissions du pré-stockage et du stockage sont estimées sur la base du $N_{stock_solide}$, du $N_{stock_liquide}$ et du $N_{stock_cosubstrats}$ :

$$N\text{-}NH_{3_{pré\text{-}stockage}} = \sum_k N_{stock\ k} \times FE_{pré\text{-}stockage}$$

*Avec :* $FE_{pré\text{-}stockage}$ = *Facteur d'émission de N-NH₃ au pré-stockage = 0,0009 kg N-NH₃/kg N (EMEP 2023) ;*
*L'indice k qui distingue les effluents d'élevage liquides, solides et les cosubstrats de méthanisation*

$$N\text{-}NH_{3_{stockage}} = \sum_k N_{stock\ k} \times FE_{stockage}$$

*Avec :* $FE_{stockage}$ = *Facteur d'émission de N-NH₃ au stockage = 0,0266 kg N-NH₃/kg N (EMEP 2023) ;*
*L'indice k qui distingue les effluents d'élevage liquides, solides et les cosubstrats de méthanisation*

**Important :** ces émissions sont converties en $NH_3$ et rapportées en « 5B2 - Biological treatment of waste - Anaerobic digestion at biogas facilities ».

$$NH_{3_{total_methanisation}} = \left(N\text{-}NH_{3_{pré\text{-}stockage}} \times N\text{-}NH_{3_{stockage}}\right) \times \frac{17}{14}$$

Ces effluents, après méthanisation et stockage, ont vocation à être épandus. D'après la méthodologie EMEP 2023, tous les effluents sortant de méthanisation sont à considérer comme des effluents liquides. A ce titre, une partie de l'azote organique est minéralisée et rejoint le réservoir d'azote ammoniacal. Ce transfert est traduit dans l'équation suivante, permettant d'estimer l'azote ammoniacal total (sous forme liquide) disponible pour l'épandage :

$$TAN_{epan_liquide_metha} = \sum_i \{TAN_{stock\ i} - (N\text{-}NH_{3\ pré\text{-}stockage\ i} + N\text{-}NH_{3\ stockage\ i}) + (N_{stock\ i} - TAN_{stock\ i}) \times F_{min}\}$$

*Avec :* *Fmin = Facteur de minéralisation par défaut proposé par EMEP 2023 (=0,32)*
*L'indice i distingue les effluents d'élevage liquides et solides*

**A noter :** Le facteur d'émission de $NH_3$ des cosubstrats à l'épandage dépend de l'azote total et non de l'azote ammoniacal aussi le suivi du TAN n'est réalisé que pour les effluents d'élevage.

Il est également nécessaire d'estimer l'azote total disponible pour l'épandage. Ici on ajoute les :

$$N_{epan_liquide_metha} = \sum_k \{N_{stock\ k} - (N\text{-}NH_{3\ pré\text{-}stockage\ k} + N\text{-}NH_{3\ stockage\ k})\}$$

*L'indice k qui distingue les effluents d'élevage liquides, solides et les cosubstrats de méthanisation*

**$NH_3$ - Poste Epandage**

En plus du « $TAN_{epan_liquide_metha}$ » présenté ci-dessus, issu des effluents méthanisés, on estime le TAN disponible des effluents d'élevage issus du stockage. Pour cela, il est nécessaire de répertorier les différentes pertes d'azote ayant eu lieu au stockage, en effectuant le bilan suivant :

Liquide :

$$TAN_{epan_liquide} = TAN_{stock_liquide} - \left(N\text{-}NH_{3\ stock_liquide} + N\text{-}N_{2\ stock_liquide} + N\text{-}NO_{stock_liquide} + N\text{-}N_2O_{stock_liquide}\right)$$

$$N_{epan_liquide} = N_{stock_liquide} - \left(N\text{-}NH_{3\ stock_liquide} + N\text{-}N_{2\ stock_liquide} + N\text{-}NO_{stock_liquide} + N\text{-}N_2O_{stock_liquide}\right)$$

Solide :

$$TAN_{epan_solide} = TAN_{stock_solide} - \left(N\text{-}NH_{3\ stock_solide} + N\text{-}N_{2\ stock_solide} + N\text{-}NO_{stock_solide} + N\text{-}N_2O_{stock_solide} + N_{lessivé}\right)$$

$$N_{epan_liquide} = N_{stock_solide} - \left(N\text{-}NH_{3\ stock_solide} + N\text{-}N_{2\ stock_solide} + N\text{-}NO_{stock_solide} + N\text{-}N_2O_{stock_solide} + N_{lessivé}\right)$$

**Important pour la section « Sols agricoles – 3D » :** la somme de $N_{epan_liquide_metha}$, $N_{epan_liquide}$ et $N_{epan_solide}$ est utilisée pour le calcul des émissions de $N_2O$ liées à l'épandage des déjections, émissions prises en compte dans la section « Sols agricoles – 3D ».

A l'épandage, les émissions d'ammoniac dépendent à la fois du type de matériel utilisé et des délais d'incorporation post-épandage. Selon les techniques en place, des abattements plus ou moins importants peuvent être appliqués. Pour chaque espèce, le calcul des émissions est alors effectué selon l'équation suivante :

$$N\text{-}NH_{3\ épandage} = \sum_{i,m}\left\{Frac_{épan\ i,m} \times TAN_{épan\ i} \times FE_{épan\ i} \times FA_{i,m}\right\}$$

*Avec :* *L'indice i distingue les déjections liquides des déjections solides ;*
*L'indice m représente l'association « matériel + délai » ;*
$Frac_{épan\ i,m}$ *= Part des déjections épandue selon l'association (matériel + délais) concernée ;*
$FE_{épan\ i}$ *= Facteur d'émission de $NH_3$ à l'épandage (kg N-$NH_3$/kg $TAN_{épan}$) ;*
$FA_{i,m}$ *= Facteur d'ajustement de l'association (matériel + délais) concernée.*

**Attention :** les effluents sortant de méthanisation sont assimilés à l'épandage à des effluents liquides. Le facteur d'émission des cosubstrats de méthanisation étant très faible et dépendant de l'azote total (et non du TAN) on ne lui affecte pas de facteur d'ajustement bien que l'épandage puisse être réalisé par un matériel moins émissif.

L'estimation du paramètre $Frac_{épan\ i,k}$, représentant la part des déjections épandue par association (matériel + délais) est réalisée différemment entre la période historique (1990-2020) et la période récente (2021-2023) dans le but d'améliorer la réactivité des données sur la période récente. Les modalités de calcul de ce paramètre sont présentées en annexe :

- L'estimation de ce paramètre pour la période 1990-2020 est présentée en annexe « A.4 Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction »
- L'estimation de ce paramètre pour la période 2021-2023 est présentée en annexe « A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage »

L'estimation du paramètre $FA_{i,m}$ est issu de deux sources distinctes :

- Les facteurs d'abattement liés aux matériels utilisés proviennent de la guidance UNECE [809] ;
- Les facteurs d'abattements liés aux délais d'incorporation après épandage sont tirés d'une étude menée en France par l'ADEME [803].

Ces facteurs d'abattement (1-FA) sont exprimés dans nos équations en facteur d'ajustement (FA) du facteur d'émission : plus le facteur d'ajustement est faible, plus la réduction est forte.

Dans le cas des pendillards, pour une combinaison (matériel + délais d'incorporation après épandage), le choix a été fait de multiplier les deux facteurs d'ajustement. Le matériel est considéré comme technique de réduction du fait de la réduction de surface de contact effluent/air, le raccourcissement du délai d'enfouissement est lui considéré comme technique de réduction du fait de la réduction du temps de contact effluent/air.

Pour les autres combinaisons (hors pendillard), la question de la combinaison des facteurs ne se pose pas car soit les facteurs d'ajustement des matériels sont égaux à 1 (buse et rampe, épandeurs fumier, indifférencié), soit il n'y a pas de délai distingué (enfouisseur : délai forcément <4h).

**Exemple :** si un effluent liquide est épandu avec un pendillard mais incorporé 6 heures après épandage, on multiplie le facteur d'ajustement du pendillard (0,7) par celui du délai (0,5) et on obtient le facteur d'ajustement (FA = 0,525).

Le tableau ci-dessous récapitule les différents facteurs d'ajustement par matériel, délais et combinaisons :

**Tableau 196 : Facteurs d'ajustement ($FA_{i,m}$) liés aux pratiques d'épandage**

| Matériel | Facteur d'ajustement matériel | Délais | Facteur d'ajustement délais | Facteur d'ajustement combinaison ($FA_{i,m}$) |
|---|---|---|---|---|
| Buse et rampe | 1 | Délai 1 : < 4h | 0,3 | **0,3** |
| | | Délai 2 : 4 < h < 12 | 0,5 | **0,5** |
| | | Délai 3 : 12 < h < 24 | 0,75 | **0,75** |
| | | Délai 4 : > 24h | 0,95 | **0,95** |
| | | Délai 5 : sans objet | 1 | **1** |
| Pendillard | 0,7 | Délai 1 : < 4h | 0,3 | **0,21** |
| | | Délai 2 : 4 < h < 12 | 0,5 | **0,35** |
| | | Délai 3 : 12 < h < 24 | 0,75 | **0,525** |
| | | Délai 4 : > 24h | 0,95 | **0,665** |
| | | Délai 5 : sans objet | 1 | **0,7** |
| Enfouisseur | 0,3 | | | **0,3** |
| Epandeur fumier | 1 | Délai 1 : < 4h | 0,3 | **0,3** |
| | | Délai 2 : 4 < h < 12 | 0,5 | **0,5** |
| | | Délai 3 : 12 < h < 24 | 0,75 | **0,75** |
| | | Délai 4 : > 24h | 0,95 | **0,95** |
| | | Délai 5 : sans objet | 1 | **1** |
| Indifférencié | 1 | Délai 1 : < 4h | 0,3 | **0,3** |
| | | Délai 2 : 4 < h < 12 | 0,5 | **0,5** |
| | | Délai 3 : 12 < h < 24 | 0,75 | **0,75** |
| | | Délai 4 : > 24h | 0,95 | **0,95** |
| | | Délai 5 : sans objet | 1 | **1** |

Les facteurs d'émission de $NH_3$ à l'épandage prennent les valeurs proposées par EMEP 2023.

**Tableau 197 : Facteurs d'émission de N-NH3 à l'épandage**

| | | FE N-$NH_3$ Liquide (kg N-$NH_3$/TANépan) | FE N-$NH_3$ Solide (kg N-$NH_3$/TANépan) |
|---|---|---|---|
| Vaches laitières | | 0,55 | 0,68 |
| Autres bovins | | 0,55 | 0,68 |
| Porcins | Porcelets non sevrés (<8kg) | 0,40 | 0,45 |
| | Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg) | 0,40 | 0,45 |
| | Verrats de 50 kg et plus | 0,29 | 0,45 |
| | Porcs à l'engrais (>30kg) | 0,40 | 0,45 |
| Truies de 50 kg et plus | | 0,29 | 0,45 |
| Caprins | | 0,90 | 0,90 |
| Ovins | | 0,90 | 0,90 |
| Chevaux | | - | 0,90 |
| Mules et ânes | | - | 0,90 |
| Volailles | Poules pondeuses d'œufs à couver | - | 0,45 |
| | Poules pondeuses d'œufs de consommation | - | 0,45 |
| | Poulettes | - | 0,45 |
| | Poulets de chair (y compris coqs et coquelets) | - | 0,38 |
| | Canards à gaver | 0,54 | 0,54 |
| | Canards à rôtir | 0,54 | 0,54 |
| | Dindes et dindons (au 1er octobre) | - | 0,54 |
| | Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver) | 0,45 | 0,45 |
| | Pintades | - | 0,54 |
| | Cailles d'élevage | - | 0,54 |
| Autres | Lapines reproductrices | 0,69 | 0,69 |
| | Cervidés d'élevage* | - | - |

* gestion uniquement à la pâture

Les émissions de $NH_3$ à l'épandage sont obtenues de la façon suivante :

$$NH_{3\ épandage} = N\text{-}NH_{3\ épandage} \times \frac{17}{14}$$

Important : ces émissions de $NH_3$ à l'épandage ne sont pas comptabilisées en « Gestion des déjections animales » mais en « Sols agricoles ».

#### $NH_3$ - Poste Pâture

Tout comme ce qui a été fait pour le bâtiment, la première étape consiste à évaluer l'azote excrété, par catégorie animale, à la pâture, à partir de l'équation suivante :

$$N_{ex_pâture} = Population_{totale} \times SG_{pâture} \times F_{ex}$$

*Avec :* $N_{ex_pâture}$ *= Quantité d'azote totale excrétée par une catégorie à la pâture (kgN) ;*
$Population_{totale}$ *= Cheptel de la catégorie concernée (tête) ;*
$SG_{pâture}$ *= part de la population gérée à la pâture ;*
$F_{ex}$ *= facteur d'excrétion azotée pour la catégorie concernée (kgN/tête).*

Les $F_{ex}$ sont nationaux et sont présentés en section « Agriculture | Introduction ».

**Important pour la section « Sols agricoles – 3D » :** les quantités d'azote totales excrétées à la pâture ($N_{ex_pâture}$) sont utilisées pour le calcul des émissions de N2O prises en compte dans la section « Sols agricoles – 3D ».

L'azote excrété est ensuite converti en azote ammoniacal (TAN) :

$$TAN_{ex_i} = N_{ex_i} \times TAN$$

*Avec :* *TAN : Proportion d'azote ammoniacal*

Les émissions de $NH_3$ des animaux à la pâture sont estimées de la façon suivante :

$$N\text{-}NH_{3\ pâture} = TAN_{ex_pâture} \times FE_{pâture}$$

*Avec :* $TAN_{ex_pâture}$ *= quantités d'azote ammoniacal excrété à la pâture ;*
$FE_{Pâture}$ *= Facteur d'émission de* $NH_3$ *à la pâture/parcours (kg N-*$NH_3$*/kg TAN).*

Les facteurs d'émissions utilisés prennent les valeurs par défaut proposées par EMEP 2023, à l'exception des volailles pour lesquelles il n'y a pas de valeur par défaut au parcours. Le FE « parcours » est donc tiré de Méda *et al*. [482]. Faute de données concernant les lapines reproductrices, le FE des volailles leur est attribué. La catégorie « cervidés d'élevage » se voit attribuer la même valeur que celle de la catégorie « ovins » faute de données disponibles.

**Tableau 198 : Facteurs d'émission de N-NH3 à la pâture**

| | FE N-NH3 Pâture (kg N-NH3/TANex_pâture) |
|---|---|
| Vaches laitières | 0,14 |
| Autres bovins | 0,14 |
| Porcins et truies | 0,31 |
| Caprins | 0,09 |
| Ovins | 0,09 |
| Chevaux | 0,35 |
| Mules et ânes | 0,35 |
| Volailles | 0,018 |
| Lapines reproductrices | 0,018 |
| Cervidés d'élevage | 0,09 |

Les émissions de $NH_3$ à la pâture sont obtenues de la façon suivante :

$$NH_{3\ pâture} = N\text{-}NH_{3\ pâture} \times \frac{17}{14}$$

Important : ces émissions de $NH_3$ à la pâture ne sont pas comptabilisées en « Gestion des déjections animales » mais en « Sols agricoles ».

## 5.3.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 3B).

Sur l'activité, **l'incertitude retenue est de 5%** car les cheptels français sont issus de la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée chaque année par le Ministère en charge de l'agriculture. Ces données officielles nationales font l'objet de nombreux contrôles, et sont bien documentées. L'encadré ci-dessous présente un extrait des principaux éléments méthodologiques structurant la SAA.

Statistique agricole annuelle (SAA) – Éléments méthodologiques (extrait)

La SAA est une opération de synthèse annuelle sur les produits agricoles français utilisant l'ensemble des informations disponibles sur un sujet donné. Les résultats de la SAA sont le fruit de consolidations et d'arbitrages conduisant à des données cohérentes dans le temps et homogènes dans l'espace.

Pour établir la SAA, les services régionaux disposent :

- des résultats des enquêtes statistiques : enquêtes réalisées chaque année ou périodiquement par les services statistiques, conformément à un programme national annuel approuvé par le Conseil national de l'information statistique (enquête Structure, inventaire Vergers, Terres labourables…) ; enquêtes effectuées à l'échelon local auprès des coopératives ou des groupements de producteurs ;
- d'informations rassemblées auprès des correspondants agricoles locaux, des organismes professionnels, des agriculteurs ;
- de données administratives (déclaration de demandes aux aides PAC, Politique agricole commune, fournis par l'ASP, Agence de services et de paiement, le casier viticole informatisé des Douanes…).

Pour certaines productions, seules les régions qui produisent le plus sont interrogées ; les données des régions pour lesquelles la production est faible sont estimées en faisant évoluer le chiffre de l'année précédente comme la moyenne nationale. En règle générale, afin que la partie estimée reste contenue, l'ensemble des régions non interrogées pour une

production représente moins de 15 % de l'ensemble de cette production (selon les chiffres du dernier recensement agricole).

Les résultats de la SAA sont régulièrement ajustés sur les résultats d'enquêtes à larges échantillons ou d'opérations exhaustives, tels les recensements agricoles réalisés en 1970, 1979, 1988, 2000, 2010 et 2020. Le dernier ajustement a été fait en 2022 pour rendre cohérentes les données 2010-2020 des productions végétales et animales de la SAA avec le recensement agricole 2020.

D'après les lignes directrices du Giec 2006, l'application d'une méthode tier 2 pour estimer les facteurs d'émission de $CH_4$ par système de gestion des déjections permet de réduire l'incertitude de ces facteurs à 20 %. Pour la répartition des animaux par système de gestion des déjections, on considère à dires d'experts que l'incertitude associée est de 25 %. Cela correspond à la fourchette basse proposée dans le Giec (*"for countries where there is a wide variety of management systems used with locally different operating practices, the uncertainty range in management system usage data can be much higher, in the range of 25% to 50%"*). La combinaison de ces deux valeurs nous conduit à une **incertitude de 30% sur le facteur d'émission global de $CH_4$** ramené au cheptel, tous systèmes confondus.

Pour les facteurs d'émission directe de $N_2O$, les incertitudes indiquées dans le Giec 2006 par système de gestion de déjections sont de 100 % (facteur 2). Le facteur d'émission indirecte liée à la redéposition présente quant à lui une incertitude de 400 % et celui du lessivage une incertitude de 230 %. La combinaison de ces valeurs pondérée par les émissions associées à chacun des postes nous donne une incertitude de 150%. Vient s'intégrer ensuite l'incertitude de répartition des animaux par système de gestion des déjections (présentée plus haut, estimée à 25%), et celle de l'excrétion azotée, estimée à dires d'experts à 20%. En combinant l'ensemble, c'est l'incertitude des facteurs d'émission qui pèse le plus, conduisant à une **incertitude de 150 % sur le facteur d'émission global de $N_2O$** ramené au cheptel**,** tous systèmes confondus.

Pour l'ensemble de la période, les sources statistiques utilisées sont les mêmes afin d'assurer la cohérence temporelle.

## 5.3.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Dispositions générales

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3. sont appliquées.

Les statistiques recueillies entrent dans le champ de l'assurance qualité de l'organisme émetteur. Le Citepa effectue également des vérifications internes sur la cohérence des séries.

Au niveau national, depuis l'année 2010, un groupe de travail sur les inventaires de l'agriculture se réunit, en moyenne une fois par an pour discuter des méthodologies d'inventaire et de leurs évolutions. Ce groupe inclut un panel important d'experts français (Inrae, Instituts techniques, etc.) sur toutes les questions relatives aux émissions dans l'atmosphère de l'agriculture.

**Comparaison des SV**

Afin d'éprouver les méthodes MONDFERENT I et II, et conformément aux recommandations des revues précédentes, une comparaison avec la méthode de niveau 2 du Giec 2019 a été réalisée pour le paramètre VS pour les bovins, ovins et caprins.

L'équation proposée par le Giec 2019 pour estimer les SV est la suivante :

$$SV = \left[EB \times \left(1 - \frac{dE\%}{100}\right) + (EU \times EB)\right] \times \left[\frac{1 - CENDRE}{18{,}45}\right]$$

*Avec :* *EB = Consommation d'énergie brute (MJ/jour) ;*
*dE% : Digestibilité de l'énergie (%) ;*
*EU x EB = énergie urinaire exprimée en tant que fraction de l'EB ;*
*CENDRE = teneur en cendres du fumier.*

Pour estimer le SV, les valeurs d'EB listées dans la section « Fermentation entérique – 3A » ont été utilisées.

Le tableau ci-dessous récapitule par sous-catégorie les variations constatées entre les deux méthodes :

**Tableau 199 : Comparaison des SV – MONDFERENT I et II / Giec 2019**

| | SV MONDFERENT | | SV estimé à partir du Giec 2019 | | Variation MONDFERENT/Giec 2019 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| Vaches laitières | 4,6 | 6,4 | 4,8 | 6,0 | -4% | 8% |
| Vaches nourrices | 2,9 | 2,9 | 3,1 | 3,1 | -9% | -9% |
| Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans | 2,6 | 2,6 | 2,4 | 2,4 | 10% | 10% |
| Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | -4% | -4% |
| Génisses de boucherie de plus de 2 ans | 2,6 | 2,6 | 2,0 | 2,0 | 29% | 29% |
| Mâles de type laitier de plus de 2 ans | 2,6 | 2,6 | 2,9 | 2,9 | -11% | -11% |
| Mâles de type viande de plus de 2 ans | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | -3% | -3% |
| Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans | 1,9 | 1,9 | 2,7 | 2,6 | -29% | -28% |
| Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans | 1,8 | 1,8 | 2,3 | 2,3 | -21% | -21% |
| Génisses de boucherie de 1 à 2 ans | 2,1 | 2,1 | 2,5 | 2,5 | -17% | -17% |
| Mâles de type laitier de 1 à 2 ans | 2,3 | 2,3 | 2,8 | 2,8 | -18% | -18% |
| Mâles de type viande de 1 à 2 ans | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 0% | 0% |
| Veaux de boucherie | 0,8 | 0,8 | 1,4 | 1,4 | -40% | -40% |
| Autres femelles de moins de 1 an | 0,8 | 0,8 | 1,9 | 1,9 | -56% | -56% |
| Autres mâles de moins de 1 an | 0,9 | 0,9 | 1,8 | 1,8 | -50% | -51% |
| Chevrettes | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | -1% | -1% |
| Chèvres (femelles ayant mis bas) | 1,1 | 1,1 | 0,7 | 0,7 | 63% | 63% |
| Autres caprins (y compris boucs) | 0,5 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 102% | 111% |
| Agnelles | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 15% | 18% |
| Brebis mères allaitantes (y c. réforme) | 0,6 | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 92% | 92% |
| Brebis mères laitières (y c. réforme) | 1,0 | 1,0 | 0,6 | 0,6 | 72% | 72% |
| Autres ovins (y compris béliers) | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 72% | 76% |

Les variations constatées sont encore à l'étude. De manière générale, les valeurs développées dans le cadre des projets MONDFERENT I et II ont été privilégiées car jugées plus représentatives de la situation française que celles recalculées à partir de la méthode du Giec 2019 qui représente plus une moyenne des pays développés.

### Comparaison des Fex

Afin d'éprouver les méthodes MONDFERENT I et II, et conformément aux recommandations des revues précédentes, une comparaison avec la méthode de niveau 2 du Giec 2019 a été réalisée pour le paramètre Fex pour les bovins, ovins et caprins.

L'équation proposée par le Giec 2019 pour estimer les Fex est la suivante (noté Nex dans le Giec) :

$$N_{ex} = N_{consommation} \times (1 - N_{rétention})$$

*Avec :* $N_{consommation}$ *= consommation annuelle de N par tête (kgN/animal/an) ;*
$N_{rétention}$ *= fraction de consommation annuelle de N qui est retenue par l'animal.*

Pour les bovins, une équation spécifique est fournie par le Giec 2019 (équation 10.33) :

$$N_{retenu} = \frac{N_{consommation}}{365} \times N_{rétention}$$

$$= \left[Lait \times \frac{\left(\frac{Lait\ PR\%}{100}\right)}{6{,}38}\right] + \left[PP \times \left[\frac{268 - \left(\frac{7{,}03 \times EN_{cce}}{PP}\right)}{(1000/6{,}25)}\right]\right]$$

*Avec :* *Lait = production de lait (kg/animal/jour), s'applique uniquement aux vaches laitières ;*

*Lait PR% : pourcentage de protéines dans le lait, calculé en tant que (1,9 + 0,4 x % matières grasses) ;*
*PP = prise de poids (kg/jour) ;*
*$EN_{cce}$ : énergie nécessaire à la croissance (MJ/jour).*

Pour les vaches laitières : la production de lait est tirée des statistiques de la SAA [410] et la teneur en matière grasse du lait des données du contrôle laitier [1052]. On fait l'hypothèse que les vaches laitières ne prennent pas de poids : le deuxième paramètre de l'équation est nul.

Pour les autres bovins, hors vaches nourrices : la prise de poids est estimée à partir de la différence des poids finaux et initiaux fournis dans le projet MONDFERENT I, divisée par 365. L'énergie pour la croissance a été estimée selon l'équation 10.6 du Giec 2019.

Pour les autres animaux, des valeurs Nrétention par catégorie sont fournies par défaut par le Giec 2019 (Tableau 10.20).

Le paramètre Nconsommation est quant à lui estimé à partir de l'équation proposée par le Giec 2019 :

$$N_{Consommation} = \frac{EB}{18{,}45} \times \left(\frac{PB\%}{100/6{,}25}\right)$$

*Avec :* *EB = consommation d'énergie brute par animal (kgN/animal/an) ;*
*PB% = pourcentage de valeur protéique brute dans le régime alimentaire.*

Pour mener la comparaison, les valeurs d'EB listées dans la section « Fermentation entérique – 3A » ont été utilisées.

Le tableau ci-dessous récapitule par sous-catégorie les variations constatées entre les deux méthodes :

**Tableau 200 : Comparaison des Fex – MONDFERENT I et II / Giec 2019**

| | Fex nationaux | | Fex estimé à partir du Giec 2019 | | Variation National/Giec 2019 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| Vaches laitières | 104,2 | 116,8 | 116,2 | 135,1 | -10% | -14% |
| Vaches nourrices | 107,3 | 108,0 | 75,0 | 75,2 | 43% | 44% |
| Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans | 69,6 | 69,1 | 69,7 | 69,5 | 0% | -1% |
| Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans | 67,0 | 66,9 | 57,2 | 57,2 | 17% | 17% |
| Génisses de boucherie de plus de 2 ans | 50,1 | 49,6 | 50,1 | 50,0 | 0% | -1% |
| Mâles de type laitier de plus de 2 ans | 79,1 | 78,6 | 82,8 | 82,7 | -4% | -5% |
| Mâles de type viande de plus de 2 ans | 77,8 | 77,7 | 66,2 | 66,2 | 17% | 17% |
| Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans | 53,5 | 53,2 | 74,0 | 73,9 | -28% | -28% |
| Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans | 51,1 | 51,1 | 55,7 | 55,7 | -8% | -8% |
| Génisses de boucherie de 1 à 2 ans | 40,7 | 40,5 | 59,0 | 58,9 | -31% | -31% |
| Mâles de type laitier de 1 à 2 ans | 57,8 | 57,6 | 77,7 | 77,6 | -26% | -26% |
| Mâles de type viande de 1 à 2 ans | 56,4 | 56,2 | 64,6 | 64,5 | -13% | -13% |
| Veaux de boucherie | 12,6 | 12,6 | 53,0 | 53,1 | -76% | -76% |
| Autres femelles de moins de 1 an | 26,5 | 26,8 | 45,6 | 45,6 | -42% | -41% |
| Autres mâles de moins de 1 an | 27,6 | 27,6 | 39,6 | 39,7 | -30% | -30% |
| Chevrettes | 7,6 | 7,6 | 8,5 | 8,5 | -10% | -10% |
| Chèvres (femelles ayant mis bas) | 17,2 | 17,2 | 16,2 | 16,2 | 6% | 6% |
| Autres caprins (y compris boucs) | 9,1 | 10,7 | 7,6 | 8,5 | 20% | 26% |
| Agnelles | 7,9 | 7,9 | 7,3 | 7,3 | 8% | 9% |
| Brebis mères allaitantes (y c. réforme) | 12,8 | 12,8 | 8,2 | 8,2 | 55% | 55% |
| Brebis mères laitières (y c. réforme) | 17,1 | 17,1 | 13,8 | 13,8 | 24% | 24% |
| Autres ovins (y compris béliers) | 3,9 | 5,3 | 3,6 | 3,8 | 10% | 39% |

Les variations constatées sont encore à l'étude. De manière générale, les valeurs nationales ont été privilégiées car jugées plus représentatives de la situation française que celles recalculées à partir de la méthode du Giec 2019 qui représente plus une moyenne des pays développés.

## 5.3.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRT 3B

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 10 065 | 10 166 | 10 824 | 10 592 | 10 557 | 10 118 | 9 402 | 9 185 | 8 769 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 10 645 | 10 763 | 11 446 | 11 308 | 11 316 | 10 906 | 10 149 | 9 895 | 9 560 | 9 198 |
| Différence | kt CO2e | +580 | +596 | +622 | +716 | +758 | +788 | +747 | +710 | +791 | +9 198 |
| | % | +6% | +6% | +6% | +7% | +7% | +8% | +8% | +8% | +9% | - |

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

Description du recalcul

Les recalculs sur ce poste ont un impact significatif cette année. Les modifications sont les suivantes :

- Hausse du VS pour les vaches laitières en lien avec la nouvelle méthodologie pour la fermentation entérique qui tient compte d'une révision à la hausse de l'énergie brute ingérée. C'est ce poste qui contribue à l'essentiel de la hausse observée entre les deux éditions
- Mise à jour du mix intrant pour la méthanisation en lien avec de nouvelles données disponibles

Raison et justification

Les raisons et justifications sont l'amélioration de la précision avec la mise à jour de certaines données d'activité et la mise à jour de la méthode.

## 5.3.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| Sector / CRF category / issue | Review recommendation | Review report/ paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| **Agriculture** 3.B Manure management – CH4 and N2O (A.3, 2021), (A.19, 2019) Accuracy | Implement data-collection efforts that allow for the separate reporting of data on the allocation of manure subject to composting by climate region and the methane conversion factor, Nex for composting and N2O emissions associated with the composting MMS, noting that this would improve the accuracy and comparability of the inventory.<br>Not resolved. The ERT noted that data-collection efforts allowing for the separate reporting of data on the allocation of composted manure and the methane conversion factor, Nex and N2O EF have not been undertaken by the Party, as it did not report separately data and emissions related to composting. The ERT further noted that no information was provided in the NIR or in the CRF tables on the allocation of composted manure. During the review, the Party indicated that there is still little information on manure composting in France and, as such, it will not be feasible for the Party to report separately data and emissions related to composting, at least in the near future. France also clarified that composting is accounted for under solid storage and possibly some other systems. The ERT is of the view that such an approach to the allocation of composting MMS is not in line with the definitions of MMS provided in the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, chap. 10, table 10.18, p.10.49). The ERT considers that the recommendation has not yet been addressed because the Party has not collected data related to composting of manure or estimated and reported the related CH4 and N2O emissions separately from other MMS, and it concluded that although this issue has not been resolved, it does not represent an underestimation of emissions as composting is mainly accounted for under solid storage. | 2022 Review ARR / A.2 | Not implemented, but on going improvement process. New leads have been provided during the agriculture french group on inventories that still need further investigation. Depending on the structure and precision of the available new data, we'll evaluate the possibility to integrate it in a future inventory and issue a planning then.However, we included new information in the NID regarding the allocation of composted manure. |

Suite à la revue de l'UE de 2024, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| CRT category / issue | Review recommendation, technical correction or revised estimate | Review report / paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| FR-3B-2024-0001 shifted to FR-3B-2025-0001 | This issue is considered as partly resolved. Therefore, we recommend that you keep on working on the issue by further analyzing and completing the data on composting MMS and report any progress on this category in the NIR to improve the accuracy of the data and emissions. | EMRT UE review plateform | Not yet implemented. This issue was raised at the annual expert group on agricultural inventories in France. No data nor research estimate seems to be readily available to date in France on agricultural composting. From a methodological standpoint, the expert group raised the difficulty of categorizing different type of composting (on-field piles, composting platforms, normalization). The national federation on composting (FNCC) was contacted but we did not get answer yet. This will remain a review point for the expert group to track any emerging data regarding composting of manure. |

## 5.3.7 Améliorations envisagées

Les données relatives aux projets MONDFERENT I et II devront encore être approfondies, de manière à mieux comprendre les résultats de la comparaison avec la méthode Giec et à pouvoir expliquer les écarts constatés. Le groupe de travail dédié à la fermentation entérique des vaches laitières a permis une amélioration méthodologique sur les excrétions carbonées et une partie du travail pourrait être remobilisée pour affiner les facteurs d'excrétion azotée des vaches laitières. Aussi l'objectif est de remobiliser ce groupe de travail sur les bovins courant 2025.

La méthodologie pour les vaches laitières pourrait aussi être appliquée aux vaches allaitantes et aux autres ruminants mais nécessite des données d'entrée sur l'alimentation des animaux qui à notre connaissance sont inexistantes en France ou difficiles à estimer correctement. Toutefois des références pourront être demandées au groupe de travail sur les bovins.

En 2019, le projet UREA conduit par l'Idele et l'Inrae pour le compte de l'Ademe a été finalisé. Ce projet UREA a eu pour objectif de fiabiliser le dosage de l'urée du lait et de construire un modèle de prédiction des rejets azotés de la vache laitière. Le relevé de cet indicateur simple permettrait d'avoir un suivi de l'évolution des pratiques de la filière en termes d'alimentation animale, ce qui aurait un impact direct dans le calcul des émissions de $NH_3$ et de GES. Le Citepa doit désormais approfondir les résultats obtenus et voir s'il est possible de les intégrer dans les futurs inventaires. Il est assez peu probable que cette méthode soit appliquée rapidement dans les inventaires, les données sur l'urée du lait n'étant pas collectées en routine dans les laiteries. Un autre groupe de travail dédié à l'excrétion azotée des bovins devait être conduit en 2023 pour avancer sur le sujet. Il a été repoussé à 2024.

Le travail d'amélioration de la prise en compte de la méthanisation va se poursuivre ces prochaines années, tout comme celui de la prise en compte des pratiques existantes pour la réduction des émissions d'ammoniac, impactant les émissions indirectes de $N_2O$.

L'estimation de la répartition des animaux par système de gestion des déjections dans les territoires Outre-mer pourrait être améliorée. Le Citepa doit creuser le sujet afin de déterminer si des informations spécifiques pourraient être disponibles.

# 5.4 Culture du riz (3C)

## 5.4.1 Caractéristiques de la catégorie

Les conditions anaérobies liées à l'inondation partielle ou continue des rizières donnent lieu à des émissions de méthane potentiellement importantes qui dépendent principalement de ces conditions d'inondation, et des apports organiques. Les rizières demeurent très marginales en France, elles se cantonnent à la Camargue dont les surfaces en culture s'inscrivent en repli tendanciel depuis 1994 (accords de Marrakech) pour s'établir à 11 861 ha en 2023 ; à environ 700 hectares en Guyane française et à quelques hectares à Mayotte.

## 5.4.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/fr/ominea/.

La méthode appliquée est de rang 1.

***Émissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ des rizières liées à l'usage d'amendements basiques et d'urée sont rapportées dans les sections « Épandage d'amendements basiques et d'engrais contenant du carbone – 3G » et « Epandage de l'urée – 3H ».

***Émissions de $CH_4$***

Les émissions de $CH_4$ provenant des rizières sont estimées en utilisant le facteur d'émission proposé par le Giec [1229] au sein du chapitre 5, calculé à partir de l'équation 5.2 :

$EFi = EFC \times SFw \times SFp \times SFo$

*Avec : EFi = Facteur d'émission journalier par ha ; EFC = Facteur d'émission correspondant au niveau de référence, i.e. à une situation de culture inondée en continu, sans amendements organiques ; SFW = Facteur de correction prenant en compte le système de gestion de l'eau pendant la période de culture ; SFp = Facteur de correction prenant en compte le système de gestion de l'eau avant la culture ; SFo = Facteur de correction prenant en compte le type et la quantité d'amendements organiques apportés.*

### Situation en métropole

Le facteur d'émission EFc, est issu des lignes directrices [1229], chapitre 5. Pour la métropole, il vaut 1,56 kg $CH_4$/ha/jour (Europe). Les différents facteurs de correction utilisés pour adapter le facteur d'émission de référence à la situation en métropole sont les suivants :

- SFw : prend la valeur par défaut proposée par le Giec pour le régime « irrigué », soit 0,6 ;
- SFp : prend la valeur par défaut proposée par le Giec pour le régime hydrique « non inondé pendant une période supérieure à 180 jours », soit 0,89. En effet, d'après les informations collectées, il y a environ 7 mois sans eau avant la mise en place d'une nouvelle culture de riz en Camargue ;
- SFo : il correspond à la quantité d'amendements organiques apportés, et est calculé selon l'équation du Giec suivante :

$SFo = (1 + \sum i\ Tx\ AOi \times FCAOi)^{0,59}$

*avec : Tx AOi = Taux d'application de l'amendement organique i, en poids sec pour la paille et en poids frais pour les autres, tonnes/ha ; FCAOi = facteur de conversion de l'amendement organique i (par rapport à son impact relatif sur la paille appliquée peu de temps avant la culture), comme au tableau 5.14 du Giec 2019.*

On considère qu'en France, les seuls amendements organiques apportés sont les pailles de riz. Le taux d'application associé est estimé à partir des quantités de matières sèches des résidus de la riziculture non brûlés (cf. calcul en section « Sols agricoles – 3D »), quantités estimées annuellement et rapportées à la superficie des rizières. Ce taux est nul en début de période jusqu'en 2000, puis augmente jusqu'à osciller depuis 2005 entre 0,2 et 0,26 tonnes de matière sèche par hectare. Le facteur de conversion appliqué est celui correspondant à la modalité « paille incorporée longtemps avant la culture » du Giec 2019, égal à 0,19. En effet, les pailles de riz en Camargue sont généralement enfouies après récolte ou durant l'hiver [964], donc longtemps avant la culture suivante.

La période de culture est supposée s'étaler du 20 avril/mi-mai (semis) jusqu'à mi-septembre/mi-octobre (récolte) [663].

Le facteur d'émission obtenu varie entre 125,4 kg $CH_4$/ha/an en début de période et 129,0 kg $CH_4$/ha/an en 2023.

## Situation pour l'Outre-Mer

Le facteur d'émission EFc, est issu des lignes directrices [1229], chapitre 5. Pour la Guyane, il vaut 1,27 kg $CH_4$/ha/jour (Amérique du Sud). Pour Mayotte, il vaut 1,19 kg $CH_4$/ha/jour (Afrique).

D'après les informations collectées, la riziculture en Guyane est irriguée depuis le début des années 1990, avec une forte mécanisation du secteur et plusieurs assecs (assèchement de la rizière en cours de culture). Le système de base consistait à produire 2 cycles par an, mais en 2007 les riziculteurs passent à un seul cycle. Ainsi, le facteur d'émission obtenu évolue dans le temps : de 1990 à 2006, il est de 80 kg $CH_4$/ha/an ; puis à partir de 2007, il est de 71 kg $CH_4$/ha/an.

Pour Mayotte, la période de culture est celle proposée par défaut par le Giec 2019. Le facteur d'émission obtenu est constant (98 kg $CH_4$/ha) sur toute la période.

**Tableau 201. Récapitulatif des paramètres utilisés pour le calcul des facteurs d'émission du riz***

| | Provence-Alpes Côte d'azur | Occitanie | Mayotte | Guyane | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1990-2006 | 2007-2023 |
| EFC | 1,56 | 1,56 | 1,19 | 1,27 | |
| SFW | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,55 | |
| SFP | 0,89 | 0,89 | 1,22 | 1,00 | 0,89 |
| SFO | 1 – 1,03 | 1 – 1,03 | 1,00 | 1,00 | |
| AO | 0 – 0,26 | 0 – 0,26 | 0 | 0 | |
| FCAO | 0,19 | 0,19 | 1,00 | 1,00 | |
| Période de culture (jours) | 151 | 151 | 113 | 115 | |
| FE (kg$CH_4$/ha/an) | 125 - 129 | 125 - 129 | 98 | 80 | 71 |

* pour les paramètres variant sur la période, les valeurs minimum et maximum sont fournies.

***Émissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ des rizières sont rapportées dans la section « Sols agricoles – 3D ».

***Émissions de Gaz fluorés***

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

**Tableau 202 : Surfaces de riziculture pour la métropole, la Guyane et Mayotte**

| | Métropole (ha) | Guyane (ha) | Mayotte (ha) | Total (ha) |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 20 568 | 1 850 | 40 | 22 458 |
| 1991 | 21 595 | 3 167 | 40 | 24 802 |
| 1992 | 24 355 | 4 483 | 40 | 28 878 |
| 1993 | 26 405 | 5 800 | 40 | 32 245 |
| 1994 | 28 120 | 6 245 | 40 | 34 405 |
| 1995 | 26 180 | 6 690 | 40 | 32 910 |
| 1996 | 22 930 | 7 135 | 40 | 30 105 |
| 1997 | 21 570 | 7 581 | 40 | 29 191 |
| 1998 | 19 530 | 8 026 | 40 | 27 596 |
| 1999 | 18 100 | 8 471 | 40 | 26 611 |
| 2000 | 19 793 | 8 916 | 40 | 28 749 |
| 2001 | 19 052 | 8 937 | 40 | 28 029 |
| 2002 | 18 325 | 8 042 | 40 | 26 407 |
| 2003 | 18 807 | 6 688 | 40 | 25 535 |
| 2004 | 19 862 | 9 441 | 40 | 29 343 |
| 2005 | 17 544 | 8 530 | 40 | 26 114 |
| 2006 | 16 968 | 5 559 | 40 | 22 567 |
| 2007 | 17 083 | 4 357 | 40 | 21 480 |
| 2008 | 16 420 | 3 572 | 37 | 20 029 |
| 2009 | 20 532 | 3 299 | 34 | 23 865 |
| 2010 | 20 692 | 2 854 | 31 | 23 577 |
| 2011 | 21 727 | 1 450 | 28 | 23 205 |
| 2012 | 20 730 | 1 450 | 25 | 22 205 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2013 | 19 008 | 1 500 | 22 | 20 530 |
| 2014 | 14 981 | 1 790 | 19 | 16 790 |
| 2015 | 14 567 | 1 600 | 16 | 16 183 |
| 2016 | 15 000 | 1 700 | 13 | 16 713 |
| 2017 | 15 310 | 1 824 | 13 | 17 147 |
| 2018 | 12 470 | 800 | 13 | 13 283 |
| 2019 | 14 337 | 750 | 13 | 15 100 |
| 2020 | 14 045 | 750 | 13 | 14 808 |
| 2021 | 12 022 | 750 | 6 | 12 778 |
| 2022 | 11 506 | 724 | 6 | 12 236 |
| 2023 | 11 861 | 724 | 7 | 12 592 |

## 5.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 3C).

Les incertitudes associées à cette catégorie sont élevées, notamment celles associées aux facteurs d'émission. Une approche dite "Tier 2" de simulation numérique "Monte Carlo" a été réalisée pour le secteur de la riziculture (3.C) sur le $CH_4$.

La méthodologie utilisée pour évaluer les incertitudes de "Monte Carlo" est celle élaborée par le GIEC au travers du guide des bonnes pratiques (cf. "Recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques et de gestion des incertitudes pour les inventaires nationaux"– chapitre 6).

Des distributions normales ont été appliquées aux paramètres des activités et des facteurs d'émission (10 000 tirages par variables). Les valeurs moyennes sont les valeurs utilisées pour le calcul des émissions de l'inventaire. Les écarts-types relatifs (incertitude environ égale à 2 fois l'écart type d'une distribution normale) aux facteurs d'émissions sont tirés du GIEC 2006. Sur l'activité, l'incertitude retenue est de 5 % car les surfaces sont régulièrement actualisées par les enquêtes agricoles. Cette donnée est donc bien documentée.

Les émissions de $CH_4$ issue du secteur 3.C dans sa globalité ont ainsi une **incertitude d'environ 78 %**.

Ces résultats d'incertitudes, déterminés par une approche tier 2 "Monte Carlo" à partir d'une simulation fine au niveau des paramètres du calcul des émissions, sont ensuite intégrés, dans une approche mixte tier 1 – tier 2, dans le tableau de calcul tier 1 des incertitudes tout secteur en annexe 6.

Concernant la cohérence temporelle des séries, celle-ci est bien respectée, la même méthodologie est employée pour l'ensemble de la période.

## 5.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3. sont appliquées.

Les statistiques recueillies entrent dans le champ de l'assurance qualité de l'organisme émetteur. Le Citepa effectue également des vérifications internes sur la cohérence des séries dans le temps.

Au niveau national, depuis l'année 2010, un groupe de travail sur les inventaires de l'agriculture se réunit, en moyenne une fois par an pour discuter des méthodologies d'inventaire et de leurs évolutions. Ce groupe inclut un panel important d'experts français (Inrae, Instituts techniques, etc.) sur toutes les questions relatives aux émissions dans l'atmosphère de l'agriculture.

## 5.4.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRT 3C

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 76 | 107 | 90 | 83 | 80 | 56 | 52 | 45 | 43 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 76 | 107 | 90 | 83 | 80 | 56 | 52 | 45 | 43 | 44 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | +0,022 | 0 | 0 | +0,069 | 0 | +44 |
| | % | 0% | 0% | 0% | 0% | +0% | 0% | 0% | +0% | 0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /3.C

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

Pour cette soumission, une légère mise à jour des niveaux de production en lien avec de nouvelles références font évoluer les résultats entre 2010 et 2012 et en 2021.

Raison et justification

Les raisons et justifications sont l'amélioration de la précision avec la mise à jour de certaines données d'activité.

### 5.4.6 Améliorations envisagées

Pour la riziculture en Outre-Mer, les paramètres pourraient continuer d'être affinés ultérieurement, à partir de la consultation d'acteurs du secteur (Cirad, Centre français du Riz, Inrae…). Toutefois, la Guyane et Mayotte constituent seulement 6 % des surfaces en riz de la France en 2023. De même, certains paramètres utilisés pour la métropole pourraient être affinés, notamment en interrogeant le centre français du riz qui pourrait disposer d'informations permettant de mieux refléter les pratiques actuelles.

# 5.5 Sols agricoles (3D)

## 5.5.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette section concerne exclusivement les émissions de $N_2O$ des sols agricoles, elle exclut les émissions de méthane des rizières (section 3C) et les flux de $CO_2$ traités au sein du secteur 4 sur l'utilisation des terres.

Les émissions des sols agricoles sont liées aux quantités d'azote épandues. L'azote épandu peut être dispersé suivant différents modes (excrétion au pâturage, pulvérisateurs, buses-palettes, pendillards, injecteurs…) et sous différentes formes (engrais minéraux, effluents d'élevage, digestats, boues, composts, résidus de récolte). Une partie de l'azote est volatilisée sous des formes réactives ($NH_3$, Nox, $N_2O$ principalement) ou non ($N_2$). Le $N_2O$ est produit dans les sols au cours des processus de nitrification et de dénitrification.

Parmi les différents postes émetteurs de $N_2O$, se retrouvent en premiers contributeurs les fertilisants minéraux, puis l'azote des résidus de récolte et ensuite le lessivage. Ces trois postes représentent environ 76% des émissions de $N_2O$ des sols agricoles en 2023.

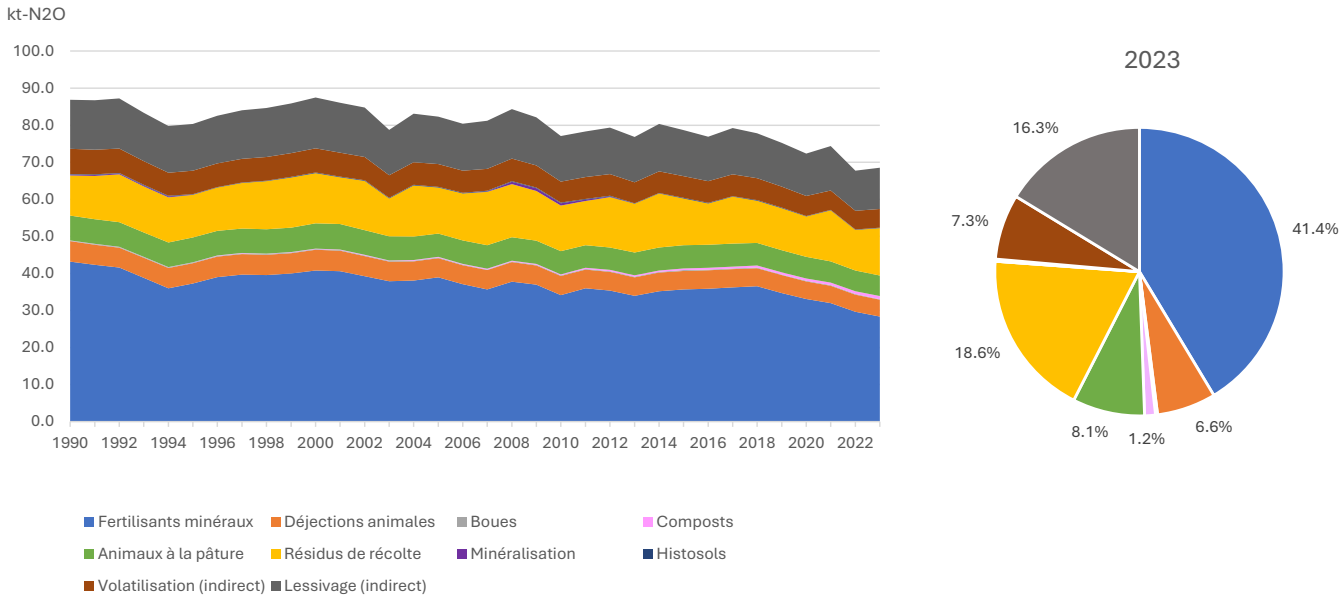



**Figure 173 : Évolution et répartition des émissions de $N_2O$ (kt) des sols agricoles (Périmètre UE)**

Les émissions de $N_2O$ des sols agricoles ont diminué de 21 % sur la période 1990-2023, cette baisse se retrouvant principalement au niveau des fertilisants minéraux (- 34 % des émissions de $N_2O$ des fertilisants minéraux entre 1990 et 2023) en lien avec le recul des apports minéraux. En 2023, les émissions de $N_2O$ sont en légère hausse par rapport à 2022 (+ 1,2 %), principalement en lien avec une hausse des émissions liées aux résidus de culture (hausse des productions), en partie contrebalancée par un repli des émissions des fertilisants minéraux (recul des apports).

Les variations des émissions directes de $N_2O$ par poste et des émissions indirectes de $N_2O$ liées au lessivage s'expliquent par l'évolution des apports d'azote, les facteurs d'émission de $N_2O$ étant avant tout dépendants du type d'apport (organique, minéral) et du climat dans lequel sont situées les parcelles fertilisées. Aussi, les émissions de $N_2O$ des sols agricoles sont avant tout sensibles aux variations des apports d'azote minéral (notamment en climat humide où le facteur d'émission est élevé) et aux évolutions du retour au sol des résidus de culture, qui peuvent représenter de grosses quantités d'azote. Pour les émissions indirectes de $N_2O$ liées à la volatilisation, ces dernières étant estimées à partir notamment des émissions de $NH_3$, d'autres facteurs entrent en jeu comme la forme d'engrais minéral épandue (urée/ammonitrates) ou encore le matériel d'épandage utilisé.

La méthodologie développée dans les lignes directrices du Giec 2019 [1229] permet d'estimer les émissions d'origine anthropique, c'est-à-dire issues de l'augmentation des quantités nettes d'azote apportées au niveau des sols gérés suite aux activités humaines.

***Données d'activité – Origines et quantités d'azote apportées***

Les sols cultivés reçoivent des quantités d'azote provenant de différentes origines. Les intrants considérés comprennent des fertilisants minéraux, des résidus de culture, des déjections animales, des boues de stations de traitement des eaux usées, du compost et du digestat issu de la méthanisation. Chaque source est décrite ci-dessous.

## Livraisons d'azote minéral

L'azote contenu dans les fertilisants minéraux en Métropole est déterminé à partir des quantités livrées fournies par l'UNIFA [90], union des industries de la fertilisation, chargée officiellement de cette tâche par l'administration française. Afin de limiter les brusques variations liées aux fluctuations interannuelles du prix des denrées agricoles et de l'azote minéral, ces données de livraisons annuelles sont lissées sur 2 campagnes. Ces données lissées sont jugées plus représentatives de la consommation annuelle des agriculteurs car elles permettent de gommer les potentiels effets de stock (livraison ≠ apports) et de recentrer les usages sur l'année civile et non sur la période de campagne (du 1er juillet au 30 juin pour les engrais azotés).

$$\text{Apport N minéral } 2021 = \frac{livraisons\ 2019/2020 + livraisons\ 2020/2021}{2}$$

Depuis 2014, un nouveau type d'engrais est considéré pour le calcul des émissions de $NH_3$ : l'urée avec inhibiteur d'uréase. Les quantités étant, à l'heure actuelle, faibles en comparaison de l'azote total livré, elles sont comptabilisées avec l'urée classique dans le graphique ci-dessous, mais la distinction est bien mise en œuvre dans les calculs. La quantité d'urée avec inhibiteurs d'uréase est reconduite à l'identique depuis 2018 faute de données disponibles (secret statistique).

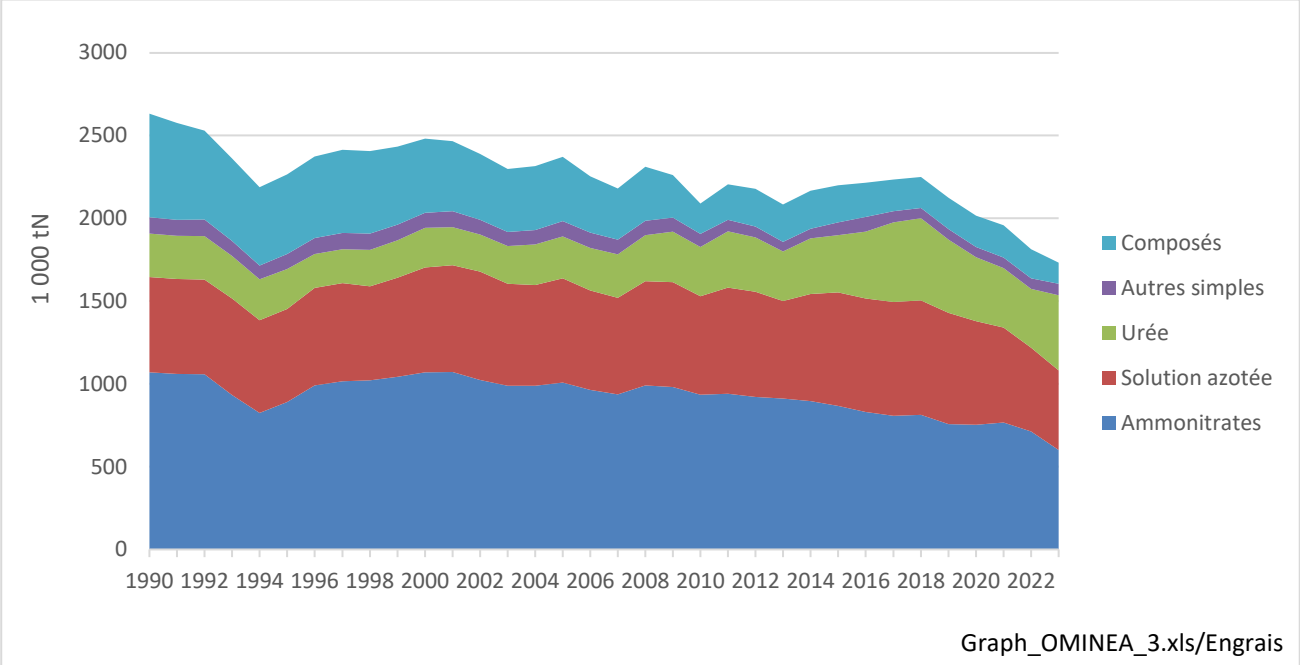



**Figure 174 : Moyenne lissée sur deux campagnes des quantités d'azote livrées issues des engrais minéraux épandus en Métropole (1 000 tN)**

Pour les territoires d'Outre-mer inclus dans l'Union Européenne, des taux de fertilisation moyens par culture sont recalculés et appliqués aux surfaces correspondantes comme suit :

Intrants = ∑i Surface_i x Fertilisation_i

*Avec :* *Intrants = tonnes d'azote totales apportées pour un territoire ;*
*Surface_i = Surface de la culture i en hectares ;*
*Fertilisation_i = taux moyen de fertilisation pour la culture i en tonnes d'azote par hectare.*

Les données utilisées sont tirées des sources suivantes :

- Les surfaces par type de culture sont disponibles dans la base Agreste [410] à partir de l'année 2000, et, faute d'autres données disponibles pour l'Outre-Mer, sont considérées constantes entre 1990 et 2000.
- Les taux de fertilisation moyens par culture sont recalculés à partir de diverses sources : l'enquête pratiques culturales de 2011 [485] fournissant des données pour la Guadeloupe et la Réunion, les données des Référentiels Technico-Economique agricole de Guyane [806] ou encore les fiches techniques fournies par la Chambre d'Agriculture de Martinique [807]. Les données pour la canne à sucre ont été mises à jour sur la base des enquêtes pratiques culturales en 2017 (inclus Martinique). Les données

concernant une culture ont été étudiées pour un territoire seulement mais sont extrapolées aux autres territoires. Les valeurs retenues sont reportées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 203. Fertilisation azotée par culture en Outre-Mer**

| | Fertilisation azotée |
|---|---|
| | kgN/ha |
| Maïs (grain et semence) | 150 |
| Riz | 179 |
| Canne à sucre | 157 |
| Pommes de terre et tubercules | 88 |
| Banane plantain | 300 |
| Autres prunes | 153 |
| Mangue | 83 |
| Corossol, Pomme cannelle | 169 |
| Goyave, Goyavier | 263 |
| Maracuja, Fruits de la passion, Grenadille | 293 |
| Ananas | 360 |
| Avocats | 103 |
| Bananes | 425 |
| Citrons, limes, combavas | 13 |
| Clémentines, mandarines | 12 |
| Oranges, tangor | 21 |
| Pamplemousses | 18 |

Ces apports moyens azotés par culture sont également utilisés, combinés aux surfaces par culture estimées à partir de diverses sources [1041] [1042] [1043] [1262], pour obtenir la fertilisation minérale dans les autres territoires d'Outre-mer (hors Union Européenne). Une exception est à noter : la Nouvelle-Calédonie, territoire pour lequel les apports d'azote minéral sont estimés à partir des données disponibles dans le memento agricole [1293].

Sur le graphique ci-dessous, les territoires d'Outre-mer inclus dans l'Union Européenne sont notés « DOM » ; les autres territoires d'Outre-Mer (hors Union Européenne) sont notés « COM ».

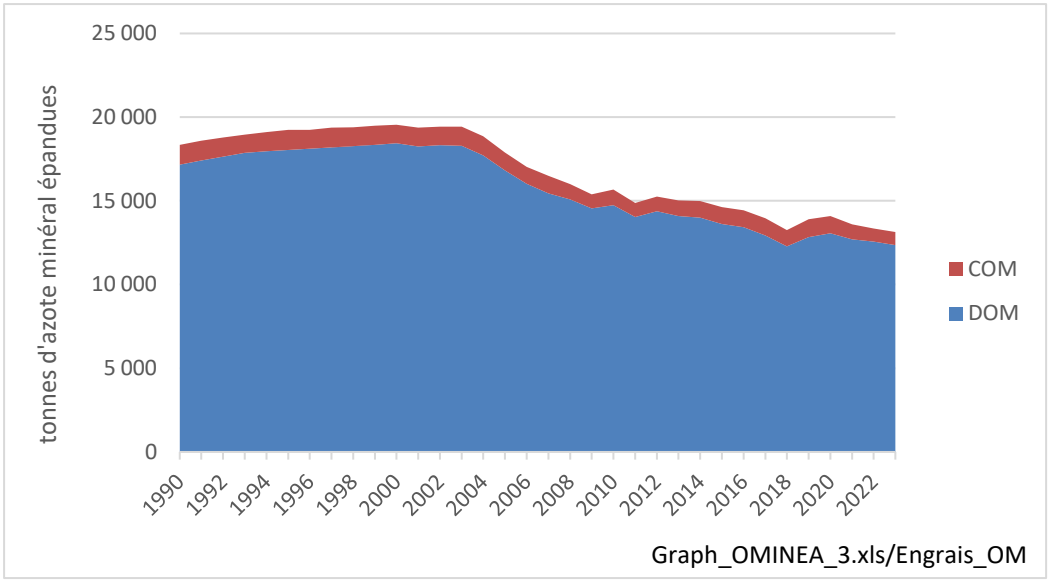



**Figure 175 : Quantités d'azote issues des engrais minéraux épandues en Outre-mer (tN)**

## Déjections animales : épandage et pâture

L'azote contenu dans les déjections animales produites au bâtiment et épandues par la suite est calculé à partir de nombreuses sources. Le calcul détaillé de ces quantités d'azote est décrit en section « Gestion des déjections animales - 3.B », et correspond à la somme des paramètres « N_épan_liquide », « N_épan_liquide_métha » et « N_épan_solide ».

L'azote contenu dans les déjections animales produites à la pâture est calculé à partir de nombreuses sources. Le calcul détaillé de ces quantités d'azote est décrit en section « Gestion des déjections animales - 3.B », et correspond au paramètre « Nex_pâture ».

### Imports d'azote des pays frontaliers

Les quantités d'azote contenues dans les déjections importées provenant des pays frontaliers à la métropole (Belgique, Luxembourg, Pays-Bas, Italie et autres pays frontaliers) sont recalculées différemment selon les périodes :

- Pour l'année 1990 : une hypothèse de stabilité a été retenue entre 1990 et 1991.
- De 1991 à 2001 : un rapport du MEDDE de 2002 [591] fournit des données d'importations en provenance d'Italie, des Pays-Bas, de la Belgique-Luxembourg et « Autres », et d'exportations (totales vers tous pays) de déjections pour la période 1991-2001. Les données sont fournies sous la forme de graphique, en Mg/an. Le rapport du MEDDE [591] et le Voortgangsrapport mestbank [592] de 2002 indiquent que la majorité des déjections sont d'origine avicole. La teneur moyenne en azote des déjections importées a été estimée sur la base du Voortgangsrapport mestbank [592] de 2002 et utilisée pour les années précédentes. Cette teneur est de 29,34 kg N/tonne de déjections.
- Pour 2002 et 2003 : des données d'importations d'azote provenant de Belgique sont disponibles annuellement dans les rapports Mestrapport publiés par le VLM (Vlaamse Landmaatschappij / « agence foncière flamande ») [592]. A ces données qui varient annuellement est additionné le solde calculé pour l'année 2001 des importations en provenance d'Italie, des Pays-Bas et « Autres » [591], moins les exportations françaises. Les parts de déjections porcines et de volailles importées sont déterminées à partir des rapports VCM (Vlaamse coordinatiecentrum Mestverwerking – « centre de coordination flamand du traitement du fumier ») [1195].
- A partir de 2004 : les données des douanes [1294] sont utilisées. Ces données présentent les imports et exports pour la catégorie "Engrais d'origine animale ou végétale, même mélangés entre eux ou traités chimiquement ; engrais résultant du mélange ou du traitement chimique de produits d'origine animale ou végétale (à l'exclusion des produits présentés soit en tablettes ou formes similaires). Les différents Mestrapport publiés pour les années post 2003 proposent également des quantités brutes et des quantités d'azote exportées. A partir de ces valeurs, on estime une teneur moyenne en azote des effluents exportés vers la France autour de 2,4%. Afin de rester conservateur, la valeur de 3% est utilisée pour convertir les données des douanes (quantités brutes) en azote.

Comme indiqué plus haut, la majeure partie des déjections importées est d'origine avicole. Le reste est attribué à des déjections porcines. Cette répartition entre déjections porcines et avicoles est définie à partir des différents Mestrapport entre 2002 et 2013. Faute d'autres données, la répartition 2002 est utilisée pour les années 1990-2001. De la même manière, la répartition 2013 est utilisée pour les années suivantes.

### Résidus de culture

Les quantités d'azote retournées au sol par les résidus de cultures sont calculées selon la méthodologie proposée par le Giec 2019 [1229], à partir de différentes données :

- les statistiques de production et de superficies publiées dans la base Agreste [410] ;
- les résultats des enquêtes pratiques culturales végétales issues du service du service statistique du Ministère de l'Agriculture [485] ;
- divers paramètres de calcul comme les indices de récolte ou encore les teneurs en matière sèches des grains. Ces paramètres sont soit fournis par des instituts techniques français, soit tirés du Giec 2019.

La méthode de calcul des quantités d'azote issues des résidus est détaillée en annexe « A.6. Estimation des quantités de matière sèche des résidus de culture ».

Cette méthode est appliquée uniquement pour la métropole sur la base de la méthodologie Giec 2019 [1229]. Pour les territoires d'Outre-mer, faute de données disponibles, une estimation de l'azote des résidus est faite à partir du ratio « azote des résidus/surfaces cultivées» calculé pour la métropole, appliqué aux surfaces des territoires d'Outre-mer.

### Épandage des boues

L'azote apporté par l'épandage des boues de traitement des eaux usées est estimé à partir des quantités de boues des stations d'épuration (en MS) épandues en France, tirées de la base de données nationale des eaux résiduaires urbaines [511], et de la quantité d'azote moyenne contenue dans les boues en France, estimée à environ 4,3% de N par tonne de matière sèche [1061] proche de la valeur par défaut (4,5 %) rapportée dans Emep. La méthodologie employée est décrite dans la section sur les déchets « Traitement des eaux - 5D ». Il est supposé qu'il n'y a pas de boues épandues en Outre-mer.

### Épandage des composts

L'azote contenu dans les déchets compostés est calculé à partir des quantités de déchets traités par compostage industriel et domestique (déchets verts, ordures ménagères, biodéchets, boues etc.), disponibles dans les enquêtes bisannuelles de l'Ademe [32], et de la composition des composts en azote total, issue d'une publication de l'Ademe [537]. La méthodologie employée est décrite dans la section sur les déchets « Traitement biologique - 5B ».

### Épandage du digestat

L'azote apporté par l'épandage de digestats issus de la méthanisation est estimé à partir des quantités de digestats épandues (en Matière Brute) en France métropolitaine. Les méthaniseurs actuellement en fonctionnement sont principalement basés sur la codigestion d'effluents d'élevage avec d'autres substrats organiques.

Le calcul des émissions liées à l'épandage de la fraction animale du digestat (fumiers, lisiers) est séparé de celui lié au calcul des émissions liées à l'épandage des digestats d'origine non-animale (ensilages de cultures dédiées ou de cultures intermédiaires à vocation énergétique, résidus de culture, déchets du stockage et de la transformation de céréales, déchets de collectivités tels que des déchets verts, déchets de restauration ou des boues de station d'épuration, déchets des industries agroalimentaires...). Le calcul des quantités d'azote issues de la fraction hors-effluents d''élevage des digestats est explicité dans la partie « Agriculture | Introduction ». Il s'appuie sur une estimation de la ration totale des méthaniseurs par catégorie d'intrant et de références sur la teneur en azote de ces catégories d'intrant.

### Minéralisation en lien avec les pertes de carbone

Les pertes de carbone au niveau des sols minéraux entrainent une minéralisation de l'azote, prise en compte en tant que source additionnelle d'azote émettrice de $N_2O$ en agriculture pour les terres cultivées restant terres cultivées. Cette source d'azote supplémentaire est estimée selon l'équation proposée dans le Giec 2019 [1229] :

| Azote_minéralisé (tonnes N) = Perte carbone (tonnes C) x 1 / R |
|---|

*Avec : Perte carbone : les pertes de carbone des sols minéraux au niveau des terres cultivées restant terres cultivées ;*
*R : rapport C :N de la matière organique du sol*

Le paramètre R prend la valeur par défaut proposée par le Giec 2019 pour les terres cultivées restant terres cultivées : 10.

Le calcul des pertes de carbone des sols minéraux au niveau des terres cultivées restant terres cultivées est décrit dans le chapitre UTCATF.

## 5.5.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/fr/ominea/.

La méthode appliquée correspond au rang GIEC 1 pour les émissions directes et indirectes de $N_2O$. Plusieurs éléments peuvent néanmoins être assimilés à du rang 2 du fait d'une description fine des cheptels, des occurrences de gestion des déjections et de la méthode pour les quantités de résidus laissés au champ.

**Important** : les méthodes de calcul des émissions de $NH_3$ et de $NO_x$ sont fournies ici pour faciliter la compréhension du calcul des émissions indirectes de $N_2O$ liées à la redéposition.

***Émissions de $CO_2$***

Aucune émission de $CO_2$ n'est prise en compte pour le secteur 3.D conformément aux méthodologies des lignes directrices du Giec 2019 [1229]. Toutefois, l'hydrolyse de l'urée dans les sols et la décarbonatation des amendements basiques conduisent à des émissions de $CO_2$ respectivement rapportées dans les catégories 3G et 3H. En ce qui concerne le carbone contenu dans la matière organique des sols, l'intégralité de ces flux sont couverts dans le secteur sur l'utilisation des terres (UTCATF, section 4).

***Émissions de $N_2O$***

L'essentiel de la méthodologie et des facteurs d'émissions sont issus des lignes directrices du Giec 2019 [1229]. Sont distinguées :

- les émissions directes de $N_2O$ suite à l'apport d'azote aux cultures ;
- les émissions indirectes de $N_2O$ liées à la volatilisation de l'azote sous diverses formes réactives ($NH_3$ et NOx principalement) et la déposition de ces dernières et de leurs produits sur les sols ou les eaux de surface ;

- les émissions indirectes de $N_2O$ liées au lessivage et la lixiviation de l'azote, deux phénomènes à l'origine du transport de diverses formes azotées (organiques ou minérales) sujettes à des processus de nitrification/dénitrification entrainant des émissions de $N_2O$.

## Les émissions directes de $N_2O$

Les émissions directes de $N_2O$ exprimées en kg de N-$N_2O$ sont calculées selon l'équation 11.1 du Giec 2019 :

$$N\text{-}N_2O_{directes} = N\text{-}N_2O_{entrées} + N\text{-}N_2O_{SO} + N\text{-}N_2O_{PPP}$$

*Avec :* *$N\text{-}N_2O_{entrées}$ = émissions de N-$N_2O$ imputables aux entrées de N sur les sols (kg N-$N_2O$/an) ;*
*$N\text{-}N_2O_{SO}$= émissions de N-$N_2O$ imputables aux sols organiques gérés (kg N-$N_2O$/an) ;*
*$N\text{-}N_2O_{PPP}$ = émissions de N-$N_2O$ imputables aux entrées d'urine et de fèces (kg N-$N_2O$/an)*

**Le paramètre $N\text{-}N_2O_{entrées}$** concerne l'ensemble des apports d'azote sur les sols cultivés. Il faut noter que l'équation du Giec distingue spécifiquement les apports aux rizières. Or, cette distinction n'est pas connue à l'heure actuelle, tous les apports sont comptabilisés sans distinction de culture de destination. Les émissions directes des sols cultivées sont tirées de l'équation 11.2 et 11.3 du Giec :

$$\mathrm{N} - N_{2O_{entrées}} = \sum_i \{(F_{SN} + F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA} + F_{CR} + F_{MOS}).FE_{1i}\}$$

*Avec :* *$F_{SN}$ = quantité annuelle de N des engrais synthétiques appliquée aux sols (kgN/an) ;*
*$F_{AM}$ = quantité annuelle d'effluents d'élevage appliquées aux sols (kgN/an) ;*
*$F_{COMP}$ = quantité annuelle de compost appliqué aux sols (kgN/an) ;*
*$F_{SEW}$ = quantité annuelle de boues appliquées aux sols (kgN/an) ;*
*$F_{OOA}$ = quantité annuelle d'autres apports organiques appliqués sols (kgN/an) ;*
*$F_{CR}$ = quantité annuelle de N retourné aux sols dans les résidus de récoltes (aériens et souterrains) (kgN/an) ;*
*$F_{MOS}$= quantité annuelle de N minéralisé dans les sols minéraux associée aux pertes de C de la matière organique des sols (kgN/an) ;*
*$FE_{1i}$ = facteur d'émission des émissions de $N_2O$ dues aux entrées de N (kgN-$N_2O$/kgN) selon le climat i.*

Dans les lignes directrices du Giec 2019, $FE_1$ prend une valeur différente selon les zones climatiques et la source d'azote. En France métropolitaine 52 % du territoire se situe en climat humide et 48 % en climat sec selon la méthodologie du Giec [1229] (cf. section « Agriculture | Introduction » ).

*Emissions de $N_2O$ des engrais minéraux : $N\text{-}N_2O_{SN}$*

Le calcul d'émission pour les engrais minéraux ($\mathrm{N} - N_2O_{SN}$) est réalisé sur la base de la carte des climats du Giec 2019 et en fonction de l'estimation des apports d'engrais minéraux au département $F_{SN_d} = \mathrm{L} \times \frac{\widehat{F_{SN_d}}}{\sum_d \widehat{F_{SN_d}}}$ établie dans la section « Agriculture | Introduction – Clé de répartition infranationale des apports d'azote minéraux ».

$$\mathrm{N} - N_2O_{SN} = \sum_d F_{SN_d}.\{s_d.FE_{1humide+}\ (1 - s_d).FE_{1sec}\}$$

*Avec :* *$A_d$ : apports d'engrais minéraux dans le département d ;*
*$s_d$ : % des surfaces du département d en zone humide ;*
*$FE_{1humide/sec}$ : facteur d'émission en zone humide ou sèche ;*
*L : livraisons nationales d'engrais fournies par l'UNIFA*

Le facteur d'émission moyen national en N-$N_2O$ est ainsi proche du précédent facteur d'émission proposé par le Giec 2006 (1%) et s'établit à 1,031 % en 2023. Celui-ci est variable dans le temps bien qu'il reste proche du niveau 2023 (variation sur la période min-max : 1,021 % - 1,036 %).

Pour l'Outre-Mer, le facteur d'émission choisi est 1,6% les régions étant situées à 100% en climat humide.

*Emissions de $N_2O$ des autres apports organiques*

Le principe de calcul des émissions utilisé est le même que pour les engrais minéraux mais s'effectue à des niveaux géographiques différents.

Pour les déjections produites en France, le calcul est effectué au niveau des anciennes régions r :

$$\mathrm{N} - N_2O_{AM} = \sum_r F_{AM_r}.\{s_r.FE_{1humi+}\ (1 - s_r).FE_{1sec}\}$$

*Avec :* $s_r$ *: % des surfaces de la région r en zone humide*

Le facteur obtenu varie peu sur la période (0,5646 % - 0,5658 %).

Pour le reste des apports (déjections importées, FRR, FSEW, FCOMP, FOOA), la pondération entre facteur d'émission en climat sec / facteur d'émission en climat humide est faite au prorata des surfaces nationales.

Les facteurs d'émission moyens pour l'année 2023 sont reportés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 204. Facteur d'émission des émissions de $N_2O$ (kgN-$N_2O$/kgN) pour 2023**

| source azote | FE1 | |
|---|---|---|
| | Métropole | Outre-Mer |
| N engrais minéraux | 1,031% | 1,6% |
| N résidus de culture | 0,552% | 0,6% |
| N compost | 0,552% | 0,6% |
| N boues | 0,552% | 0,6% |
| N déjections épandues – produites en France | 0,566% | 0,6% |
| N déjections épandues – importées | 0,552% | / |
| N minéralisé en lien avec la perte de carbone des terres cultivées | 0,552% | / |

**Le paramètre N-$N_2O_{SO}$** concerne les émissions directes liées aux sols organiques gérés (ou histosols cultivés). En France, quatre types de sols organiques sont considérés :

- les sols de cultures organiques en climat tempéré (Métropole)
- les prairies organiques en climat tempéré (Métropole),
- les sols de cultures organiques en climat tropical (Guyane),
- les prairies en climat tropical (Guyane).

L'équation du Giec est adaptée de la façon suivante :

$$\mathrm{N} - N_2O_{SO} = \sum_{i,j} F_{SO_{i,j}} \times FE_{2CP_{i,j}}$$

*Avec :* $F_{SO}$ *= la superficie annuelle des sols organiques de type i gérés dans la zone climatique j (ha) ;*
$FE_{2CP}$ *= le facteur d'émission pour les sols organiques de type i gérés dans la zone climatique j (kg N* $N_2O$*/ha) ;*
*i le type de sol (culture ou prairie)*
*j le type de climat (tempéré en Métropole, tropical en Guyane)*

Les surfaces de sols organiques sont obtenues de manière spatialement explicite en utilisant plusieurs jeux de données cartographiques pertinents, que ce soit pour la métropole (Base de données des inventaires des tourbières en France métropolitaine [1202]) ou pour la Guyane [720]. Ces cartes sont croisées avec le modèle de suivi des terres spatialement explicite Citepa pour la métropole ou avec des cartes d'occupation du sol (Corine Land Cover) pour la Guyane afin de caractériser les surfaces par usage des terres. Les surfaces d'histosols cultivés retenues pour le calcul sont les surfaces de sols organiques précédemment décrites, classées en cultures et prairies permanentes.

Les facteurs d'émission utilisés sont ceux proposés dans le supplément 2013 du Giec [1062] sur les zones humides (Chapitre 2 - Table 2.5 p 33) reportés pour mémoire dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 205. Facteurs d'émission des histosols cultivés - kg N-$N_2O$/ha/an - source : IPCC (2013) [1193]**

| | Cultures | Prairies | Moyen* |
|---|---|---|---|
| France Métropolitaine | 13,0 | 1,6 | 4,6 |
| Guyane | 5,0 | 5,0 | 5,0 |

**Le facteur d'émission moyen est obtenu en pondérant les facteurs d'émission par catégorie selon les surfaces en cultures et prairies.*

**Le paramètre N-$N_2O_{PPP}$** concerne les émissions directes liées aux entrées d'urine et fèces des pâturages. Ces émissions sont calculées toujours en utilisant l'équation 11.1 du Giec 2019 :

$$\text{N-}N_2O_{PPP} = F_{PPP,BVS} \times FE3_{PPP,BVS} + F_{PPP,MA} \times FE3_{PPP,MA}$$

*Avec :* $F_{PPP,BVS}$ *= quantité annuelle d'azote des urines et fèces déposée par les bovins, volailles, suidés, au pâturage (kg N/an) ;*
$FE3_{PPP,BVS}$ *= facteur d'émission pour les bovins, volailles et suidés au pâturage (kg N-*$N_2O$*/kg N) ;*

*$F_{PPP,MA}$ = quantité annuelle d'azote des urines et fèces déposée par les moutons et autres animaux au pâturage (kg N/an) ;*
*$FE3_{PPP,MA}$ = facteur d'émission pour les moutons et autres animaux au pâturage (kg N-$N_2O$/kg N).*

Les paramètres $F_{PPP,BVS}$ et $F_{PPP,MA}$ ont été présentés plus haut, en section « Déjections animales : épandage et pâture », ils sont disponibles au niveau régional. Les facteurs d'émission utilisés sont ceux proposés par défaut par le Giec 2019. Pour les bovins, porcins et volailles, une distinction du facteur d'émission est faite par climat (humide/sec). Pour les ovins et autres animaux, un unique facteur d'émission est proposé. Les émissions sont ainsi calculées :

$$N - N_2O_{PPP} = \sum_r N_{PPP,BVS_r}.\{s_r.FE_{3PPP,BVS_humi+}(1-s_r).FE_{3PPP,BVS_sec}\} + N_{PPP,MA_r}.FE_{3PPP,MA}$$

Le facteur d'émission FE3 des déjections animales à la pâture obtenu, toutes espèces confondues, varie sur la période (min-max : 0,438 % - 0,445 %). Pour 2023, il vaut 0,445 %.

Les émissions de N-$N_2O$ directes sont converties ensuite en $N_2O$ de la façon suivante :

$N_2O_{directes}$ = N-$N_2O_{directes}$ x 44/28

## Les émissions indirectes de $N_2O$ liées à la volatilisation

Les émissions indirectes liées à la volatilisation sont calculées selon l'équation 11.9 des lignes directrices du Giec 2019 [1229] :

N-$N_2O_{DAT}$ = [($F_{SN}$ x $Frac_{GAZE}$) + (($F_{ON}$ + $F_{PPP}$) x $Frac_{GAZM}$)] x $FE_4$

*Avec :* *$Frac_{GAZE}$ = fraction de N d'engrais synthétique volatilisé sous forme de $NH_3$ et de NOx (kg N volatilisé/kg N appliqué) ;*
*$Frac_{GAZM}$ = fraction de N organique (engrais et pâture) volatilisé sous forme de $NH_3$ et de NOx (kg N volatilisé/kg N appliqué) ;*
*$FE_4$ = facteur d'émission de $N_2O$ dues au dépôt atmosphérique de N sur les sols et les surfaces aquatiques (kg N-$N_2O$/ (kg N-$NH_3$ + N-NOx volatilisé)).*

Plutôt que d'utiliser les fractions par défaut proposées par le Giec, les émissions de $NH_3$ et de NOx relatives à l'application d'engrais minéraux, de déjections animales, de boues, de compost et celles liées aux animaux à la pâture, sont calculées conformément à la méthode Emep 2023 [1331] détaillée en sections « Émissions de $NH_3$ » et « Émissions de NOx » plus bas.

On a alors :

- $Frac_{GAZE}$ = (N-$NH_3$_SN + N-NOx_SN) / $F_{SN}$
- $Frac_{GAZdéjections}$ = (N-$NH_3$_déjections + N-NOx_déjections) / $F_{déjections}$
- $Frac_{GAZpâture}$ = (N-$NH_3$_pâture + N-NOx_pâture) / $F_{pâture}$
- $Frac_{GAZboues}$ = (N-$NH_3$_boues + N-NOx_boues) / $F_{boues}$
- $Frac_{GAZcompost}$ = (N-$NH_3$_compost + N-NOx_compost) / $F_{compost}$
- $Frac_{GAZdigestat}$ = (N-$NH_3$_digestat + N-NOx_digestat) / $F_{digestat}$

*Rappel : pour les digestats, il s'agit des produits issus de la méthanisation hors effluent d'élevage méthanisés, ces derniers étant comptabilisés au niveau des déjections.*

Ces fractions recalculées varient dans le temps. Le tableau suivant présente les valeurs moyennées obtenues sur le périmètre Métropole et DOM (périmètre UE) :

**Tableau 206 : Fractions de l'azote épandu qui se volatilise sous forme de $NH_3$ et de NOx, utilisées dans le calcul des émissions de $N_2O$ des sols – périmètre UE**

| | | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FracGAZE | Azote minéral épandu | 9.2% | 8.9% | 8.9% | 9.0% | 8.9% | 8.9% | 9.5% |
| FracGAZdéjections | Déjections animales épandues, produites et importées | 15.2% | 15.2% | 14.7% | 13.8% | 13.7% | 13.6% | 13.6% |
| FracGAZpâture | Déjections des animaux à la pâture | 9.3% | 9.4% | 9.4% | 9.4% | 9.4% | 9.4% | 9.4% |
| FracGAZboues | Boues épandues | 11.9% | 11.9% | 11.9% | 11.9% | 11.9% | 11.9% | 11.9% |
| FracGAZcomposts | Composts épandus | 7.8% | 7.8% | 7.8% | 7.8% | 7.8% | 7.8% | 7.8% |
| FracGAZdigestats | Digestats épandus | 7.8% | 7.8% | 7.8% | 7.8% | 7.8% | 7.8% | 7.8% |

Le facteur d'émission lié au dépôt atmosphérique de N sur les sols et surfaces aquatiques ($FE_4$) évolue lui aussi en fonction de la zone climatique Giec : il vaut 1,4% en climat humide et 0,5% en climat sec. Pour la métropole, selon les types d'apports, la pondération des facteurs d'émissions sec et humide est faite à différents niveaux :

- Pour les engrais minéraux : la répartition des apports d'azote minéral par département et par climat est utilisée comme pondération. Cela ne permet pas de prendre en compte la variabilité des potentiels émissifs des différentes formes d'engrais minéral mais ce point pourra être amélioré dans les éditions futures.
- Pour les déjections animales produites en France : les émissions de $NH_3$ et NOx associées sont connues au niveau régional. Ces émissions régionales sont redistribuées au prorata des surfaces par climat de la région, pour obtenir la pondération souhaitée.
- Pour l'azote des animaux à la pâture : la même méthode que celle pour les déjections animales est appliquée.
- Pour les autres apports d'azote (déjections importées, boues, composts, digestats hors effluents) : la pondération est faite au prorata des surfaces nationales par climat.

On obtient, pour l'ensemble de ces apports, un $FE_4$ qui varie sur la période autour de 1%. Pour l'Outre-mer, le facteur pour climat humide est utilisé (100% des territoires considérés en climat humide).

Les émissions de N-$N_2O$ indirectes liées au dépôt atmosphérique sont converties ensuite en $N_2O$ de la façon suivante :

$$N_2O_{DAT} = N\text{-}N_2O_{DAT} \times 44/28$$

## Les émissions indirectes de $N_2O$ liées au lessivage

Les émissions indirectes liées à la lixiviation/écoulements sont calculées selon l'équation 11.10 des lignes directrices du Giec [1229] :

$$N\text{-}N_2O_L = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PPP} + F_{RR} + F_{MOS}) \times Frac_{LEACH} \times FE_5$$

*Avec : $Frac_{LEACH}$ = fraction de l'azote minéralisé/ajouté aux sols gérés dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements ;*
*$FE_5$ = facteur d'émission de $N_2O$ dues à la lixiviation et aux écoulements (kg N-$N_2O$/kg N lessivé et écoulé).*

Le paramètre $Frac_{LEACH}$ est estimé en utilisant la valeur par défaut issue du Giec 2019 qui est de 0,24 kg N lessivé/kg N apporté, valeur que l'on applique uniquement aux surfaces situées en climat humide et aux surfaces irriguées. La part moyenne des surfaces irriguées est estimée à partir des données des recensements agricoles (2000 [1296], 2010 [1297], 2020 [1249]) et des enquêtes pratiques culturales 2011, 2017 et 2021 [485]. On considère sur la période qu'environ 4,8% des surfaces sont irriguées. Pour estimer la part des surfaces susceptibles de lessiver, la part des surfaces situées en zone de climat humide et la part des surfaces irriguées sont sommées. Ensuite, le calcul de l'azote lessivé est effectué à différentes échelles selon les apports :

- Pour les engrais minéraux : l'azote lessivé est estimé au niveau du département, en appliquant la part d'azote lessivé par défaut du Giec aux apports minéraux considérés épandus en zone susceptible de lessiver. Pour les surfaces situées en zone de climat humide, la part varie selon le département. En revanche, on considère que la part des surfaces irriguées est identique partout, égale à la part nationale.
- Pour les déjections animales produites en France : l'azote lessivé est estimé au niveau de la région en appliquant la part d'azote lessivé par défaut du Giec à l'azote des déjections considérées épandues en zone susceptible de lessiver. Pour les surfaces situées en zone de climat humide, la part varie selon la région. En revanche, on considère que la part des surfaces irriguées est identique partout, égale à la part nationale.
- Pour l'azote des animaux à la pâture : la même méthode que celle pour les déjections animales est appliquée.
- Pour les autres apports d'azote (déjections importées, boues, composts, digestats hors effluents, résidus, azote minéralisé) : l'azote lessivé est estimé au niveau national directement, en appliquant la part d'azote lessivé par défaut du Giec à l'azote apporté considéré épandu en zone susceptible de lessiver (climat humide et surfaces irriguées).

Pour l'Outre-mer, l'ensemble des territoires étant considéré en climat humide, la part d'azote lessivé par défaut du Giec est appliquée à l'ensemble des apports. On ne considère pas d'irrigation en Outre-mer.

Le facteur d'émission de $N_2O$ dues à la lixiviation et aux écoulements (FE5) utilisé est celui proposé par défaut par le Giec 2019 dans le tableau 11.3 : 0,011 kg N-$N_2O$/kg N lessivé.

Les émissions de N-$N_2O$ indirectes liées dues à la lixiviation et aux écoulements sont converties ensuite en $N_2O$ de la façon suivante :

$$N_2O_L = N\text{-}N_2O_L \times 44/28$$

## Récapitulatif des sources d'azote et émissions de $N_2O$ des sols

Les tableaux ci-dessous récapitulent les quantités d'azote apportées aux sols par source en Métropole, au sein des territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE et au sein des territoire d'Outre-mer non inclus dans l'UE, sur la période 1990-2023.

**Tableau 207 : Azote apporté aux sols cultivés par source en Métropole (tonnes d'azote)**

| | Engrais minéraux | Déjections * | Pâture | Boues | Compost | Résidus | Digestat | Azote minéralisé en lien avec les pertes de C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 2 631 880 | 614 683 | 969 008 | 16 216 | 7 119 | 1 237 111 | 864 | 26 471 |
| 1991 | 2 576 401 | 608 286 | 959 426 | 17 085 | 7 238 | 1 339 537 | 864 | 26 792 |
| 1992 | 2 530 752 | 602 167 | 955 984 | 17 999 | 7 358 | 1 479 629 | 864 | 26 146 |
| 1993 | 2 361 418 | 603 516 | 950 615 | 18 963 | 7 479 | 1 424 658 | 864 | 26 226 |
| 1994 | 2 187 868 | 608 905 | 953 379 | 19 978 | 7 990 | 1 398 871 | 864 | 26 184 |
| 1995 | 2 264 988 | 613 994 | 960 201 | 21 048 | 8 537 | 1 321 614 | 864 | 2 179 |
| 1996 | 2 372 833 | 615 998 | 963 431 | 22 456 | 9 489 | 1 334 161 | 864 | 0 |
| 1997 | 2 414 800 | 611 898 | 956 078 | 23 863 | 10 364 | 1 404 304 | 864 | 0 |
| 1998 | 2 405 738 | 610 731 | 951 337 | 25 271 | 11 230 | 1 479 467 | 864 | 0 |
| 1999 | 2 432 969 | 606 371 | 953 490 | 23 687 | 13 572 | 1 545 604 | 864 | 0 |
| 2000 | 2 482 362 | 620 010 | 983 769 | 22 102 | 14 435 | 1 551 413 | 951 | 0 |
| 2001 | 2 466 649 | 616 030 | 990 883 | 20 518 | 15 617 | 1 444 840 | 951 | 0 |
| 2002 | 2 388 270 | 606 616 | 962 197 | 19 701 | 16 919 | 1 520 559 | 1 006 | 0 |
| 2003 | 2 299 057 | 590 830 | 934 001 | 18 884 | 18 327 | 1 174 231 | 1 120 | 0 |
| 2004 | 2 316 478 | 578 693 | 917 522 | 18 067 | 19 577 | 1 578 534 | 1 120 | 0 |
| 2005 | 2 371 148 | 575 430 | 908 932 | 18 246 | 20 815 | 1 419 999 | 1 147 | 0 |
| 2006 | 2 254 665 | 570 269 | 909 947 | 18 424 | 22 411 | 1 452 361 | 1 234 | 0 |
| 2007 | 2 180 591 | 578 147 | 915 670 | 18 603 | 23 207 | 1 644 195 | 1 322 | 17 060 |
| 2008 | 2 311 681 | 588 531 | 912 416 | 18 782 | 23 925 | 1 634 908 | 1 726 | 74 092 |
| 2009 | 2 262 011 | 576 989 | 909 568 | 18 960 | 24 856 | 1 534 863 | 1 873 | 81 620 |
| 2010 | 2 089 567 | 572 901 | 899 927 | 22 865 | 25 610 | 1 411 557 | 2 388 | 69 005 |
| 2011 | 2 206 362 | 566 659 | 880 170 | 21 401 | 30 028 | 1 365 729 | 3 294 | 43 661 |
| 2012 | 2 178 660 | 558 921 | 873 429 | 21 405 | 34 455 | 1 556 091 | 5 004 | 21 183 |
| 2013 | 2 084 375 | 557 408 | 880 740 | 18 603 | 35 964 | 1 506 224 | 6 451 | 0 |
| 2014 | 2 167 376 | 559 427 | 891 333 | 20 699 | 37 239 | 1 664 343 | 8 662 | 0 |
| 2015 | 2 199 549 | 557 085 | 898 214 | 25 849 | 38 882 | 1 450 793 | 10 669 | 0 |
| 2016 | 2 214 700 | 554 061 | 896 289 | 21 388 | 40 088 | 1 273 921 | 12 516 | 0 |
| 2017 | 2 234 189 | 546 718 | 885 498 | 23 343 | 41 979 | 1 448 865 | 14 603 | 0 |
| 2018 | 2 250 835 | 541 850 | 868 106 | 25 298 | 43 609 | 1 307 515 | 18 060 | 0 |
| 2019 | 2 125 147 | 535 435 | 851 917 | 20 698 | 42 704 | 1 299 949 | 23 478 | 0 |
| 2020 | 2 016 775 | 531 556 | 835 318 | 17 687 | 42 250 | 1 247 187 | 29 042 | 0 |
| 2021 | 1 958 478 | 524 277 | 815 367 | 20 335 | 39 437 | 1 574 382 | 39 108 | 0 |
| 2022 | 1 812 818 | 516 437 | 797 210 | 17 887 | 37 726 | 1 251 252 | 49 199 | 0 |
| 2023 | 1 732 954 | 504 914 | 788 452 | 17 944 | 37 816 | 1 465 088 | 57 504 | 0 |

*produites et importées

**Tableau 208: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE (tonnes d'azote)**

| | Engrais minéraux | Déjections | Pâture | Boues | Compost | Résidus |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 17 167 | 6 767 | 4 352 | 0 | 27 | 9 241 |
| 1991 | 17 402 | 6 698 | 4 321 | 0 | 27 | 10 122 |
| 1992 | 17 637 | 6 443 | 4 083 | 0 | 28 | 11 399 |
| 1993 | 17 872 | 6 292 | 4 013 | 0 | 29 | 11 680 |
| 1994 | 17 952 | 6 243 | 4 049 | 0 | 32 | 11 511 |
| 1995 | 18 031 | 6 136 | 4 015 | 0 | 36 | 10 770 |
| 1996 | 18 111 | 6 585 | 4 538 | 0 | 40 | 10 675 |
| 1997 | 18 190 | 6 536 | 4 610 | 0 | 40 | 11 041 |
| 1998 | 18 270 | 6 523 | 4 600 | 0 | 45 | 11 626 |
| 1999 | 18 349 | 6 306 | 4 320 | 0 | 60 | 12 318 |
| 2000 | 18 429 | 6 841 | 4 796 | 0 | 67 | 12 520 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2001 | 18 253 | 6 752 | 4 991 | 0 | 70 | 11 573 |
| 2002 | 18 317 | 6 678 | 4 846 | 0 | 73 | 11 924 |
| 2003 | 18 282 | 6 646 | 4 756 | 0 | 78 | 9 092 |
| 2004 | 17 715 | 6 537 | 4 505 | 0 | 83 | 12 471 |
| 2005 | 16 808 | 6 198 | 4 396 | 0 | 122 | 11 126 |
| 2006 | 16 011 | 6 138 | 4 477 | 0 | 162 | 11 997 |
| 2007 | 15 447 | 5 701 | 3 996 | 0 | 184 | 13 310 |
| 2008 | 15 078 | 5 830 | 4 044 | 0 | 207 | 12 847 |
| 2009 | 14 555 | 5 661 | 3 944 | 0 | 279 | 11 750 |
| 2010 | 14 736 | 5 411 | 3 806 | 0 | 352 | 10 751 |
| 2011 | 14 027 | 5 422 | 3 810 | 0 | 362 | 9 987 |
| 2012 | 14 374 | 5 365 | 3 804 | 0 | 372 | 11 393 |
| 2013 | 14 080 | 5 130 | 3 675 | 0 | 442 | 10 790 |
| 2014 | 13 993 | 5 141 | 3 698 | 0 | 513 | 10 874 |
| 2015 | 13 620 | 5 063 | 3 691 | 0 | 507 | 9 206 |
| 2016 | 13 422 | 5 088 | 3 689 | 0 | 501 | 8 008 |
| 2017 | 12 933 | 4 994 | 3 707 | 0 | 503 | 9 022 |
| 2018 | 12 281 | 4 996 | 3 631 | 0 | 505 | 8 044 |
| 2019 | 12 830 | 4 938 | 3 585 | 0 | 533 | 8 137 |
| 2020 | 13 056 | 4 874 | 3 379 | 0 | 561 | 7 961 |
| 2021 | 12 694 | 4 523 | 3 036 | 0 | 567 | 10 010 |
| 2022 | 12 559 | 4 398 | 2 917 | 0 | 573 | 7 975 |
| 2023 | 12 346 | 4 256 | 2 752 | 0 | 573 | 9 284 |

**Tableau 209: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d'Outre-mer non inclus dans l'UE (tonnes d'azote)**

| | Engrais minéraux | Déjections | Pâture | Boues | Compost | Résidus |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 1 181 | 4 230 | 3 802 | 0 | 0 | 16 772 |
| 1991 | 1 195 | 4 284 | 3 843 | 0 | 0 | 18 227 |
| 1992 | 1 137 | 4 177 | 3 753 | 0 | 0 | 20 369 |
| 1993 | 1 085 | 4 089 | 3 592 | 0 | 0 | 20 712 |
| 1994 | 1 157 | 4 002 | 3 414 | 0 | 0 | 20 363 |
| 1995 | 1 210 | 4 250 | 3 637 | 0 | 0 | 19 009 |
| 1996 | 1 119 | 4 194 | 3 645 | 0 | 0 | 18 765 |
| 1997 | 1 175 | 4 143 | 3 657 | 0 | 0 | 19 329 |
| 1998 | 1 127 | 4 093 | 3 650 | 0 | 0 | 20 273 |
| 1999 | 1 134 | 4 092 | 3 741 | 0 | 0 | 21 392 |
| 2000 | 1 111 | 3 895 | 3 462 | 0 | 0 | 21 655 |
| 2001 | 1 118 | 3 857 | 3 558 | 0 | 0 | 20 315 |
| 2002 | 1 112 | 3 836 | 3 543 | 0 | 0 | 21 297 |
| 2003 | 1 148 | 3 793 | 3 500 | 0 | 0 | 16 120 |
| 2004 | 1 149 | 3 829 | 3 536 | 0 | 0 | 20 968 |
| 2005 | 1 080 | 3 571 | 3 145 | 0 | 0 | 18 539 |
| 2006 | 1 011 | 3 222 | 2 745 | 0 | 0 | 18 454 |
| 2007 | 1 045 | 3 273 | 2 799 | 0 | 0 | 20 305 |
| 2008 | 913 | 3 334 | 2 783 | 0 | 0 | 19 236 |
| 2009 | 825 | 3 223 | 2 747 | 0 | 0 | 17 522 |
| 2010 | 937 | 3 155 | 2 706 | 0 | 0 | 15 591 |
| 2011 | 840 | 3 086 | 2 644 | 0 | 0 | 14 592 |
| 2012 | 884 | 2 910 | 2 600 | 0 | 0 | 16 037 |
| 2013 | 943 | 2 815 | 2 570 | 0 | 0 | 15 453 |
| 2014 | 991 | 2 979 | 2 743 | 0 | 0 | 17 007 |
| 2015 | 999 | 2 790 | 2 530 | 0 | 0 | 14 837 |
| 2016 | 1 010 | 2 657 | 2 357 | 0 | 0 | 13 002 |
| 2017 | 1 023 | 2 577 | 2 281 | 0 | 0 | 14 805 |
| 2018 | 970 | 2 590 | 2 241 | 0 | 0 | 13 594 |
| 2019 | 1 071 | 2 703 | 2 376 | 0 | 0 | 13 509 |
| 2020 | 1 031 | 2 625 | 2 225 | 0 | 0 | 13 086 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2021 | 893 | 2 597 | 2 123 | 0 | 0 | 16 467 |
| 2022 | 782 | 2 688 | 2 192 | 0 | 0 | 13 020 |
| 2023 | 782 | 2 690 | 2 204 | 0 | 0 | 15 260 |

***Émissions de $CH_4$***

Aucune émission de $CH_4$ n'est prise en compte pour la section « Sols agricoles – 3D » conformément aux méthodologies des lignes directrices du Giec, les émissions de $CH_4$ des rizières sont traitées dans la section « Rizières - 3C ».

***Émissions de gaz fluorés***

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

***Émissions de NOx***

Ces émissions sont rapportées dans les sous-codes NFR suivants (3Da1, 3Da2a, 3Da2b, 3Da2c, 3Da3).

Des émissions de NO sont estimées au niveau des sols agricoles. Elles sont associées à la présence d'azote réactif en lien avec la fertilisation des productions végétales et la présence des animaux. Ces émissions rentrent également dans le calcul des émissions indirectes de $N_2O$.

Les émissions de NOx sont déterminées sur la base de la méthodologie Emep 2023 en utilisant le facteur d'émission Table 3.1 p 14 :

$$N\text{-}NO = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PPP}) \times FE_{NO}$$

*Avec :* $F_{SN}$ *= quantité annuelle de N d'engrais synthétique appliquée aux sols (kg N/an) ;*
$F_{ON}$ *: quantité annuelle de fumier animal, compost, digestat et boues appliqués aux sols (kg N/an) ;*
$F_{PPP}$ *: quantité annuelle d'azote des urines et fèces déposée par les animaux au pâturage (kg N/an) ;*
$FE_{NO}$ *= facteur d'émission de NO associé aux apports azotés (kg N-NO/kg N)*

Les paramètres $F_{ON}$ et $F_{PPP}$ sont décrits dans la section « Caractéristiques de la catégorie ». Le paramètre $F_{ON}$ couvre à la fois l'épandage des déjections (produites et importées), les boues, les digestats et les composts.

Le guide Emep propose une méthodologie par défaut de rang 1, avec un facteur d'émission provenant du tableau 6 de Stehfest et Bouwman [1194], calculé à l'échelle européenne comme la moyenne pondérée des facteurs d'émission des cultures et des prairies (0,04 kg $NO_2$/kg N épandu soit 0,012 kg N-NO/kg N ou 1,22 % de l'azote épandu).

Les émissions sont converties en équivalent $NO_2$ de la façon suivante :

$$NO_2 = N\text{-}NO \times 46/14$$

Cette valeur proposée par Emep est nettement supérieure (de + 118 %) à la valeur retenue par Stehfest et Bouwman à l'échelle mondiale (0,55 %). De récents travaux (Skiba et al. 2021 [1242]) trouvent également un facteur d'émission plus bas (0,60 %) mais soulignent que le peu de données disponibles conduit à de fortes incertitudes sur ce facteur d'émission et recommandent ainsi de poursuivre l'utilisation du facteur par défaut Emep. Par ailleurs, les auteurs n'ont pas observé d'influence significative de la forme d'engrais sur les émissions de NO.

***Émissions de $NH_3$***

Les émissions de $NH_3$ liées aux sols agricoles sont calculées de la façon suivante :

$$NH_3 = \sum i \left( F_{SN_i} \times FE_i \right) + NH_{3\ Epandage} + NH_{3\ Pâture} + F_{boues} \times FE_{boues} + F_{compost} \times FE_{compost} + F_{digestat} \times FE_{digestat} + F_{import_déjections} \times FE_{déjections}$$

*Avec :* $F_{SN_i}$ *= quantité annuelle de N d'engrais synthétique i appliquée aux sols (kgN/an) ;*
$FE_i$ *= facteur d'émission de* $NH_3$ *associé à l'engrais i (kg* $NH_3$*/kg N) ;*
$NH_3$ *Epandage = émissions de* $NH_3$ *liées à l'épandage des déjections ;*
$NH_3$ *Pâture = émissions de* $NH_3$ *liées aux animaux à la pâture ;*
$F_{boues}$ *= quantité annuelle de N des boues appliquée aux sols (kgN/an) ;*
$FE_{boues}$ *= facteur d'émission de* $NH_3$ *associé aux boues (kg* $NH_3$*/kg N) ;*
$F_{compost}$ *= quantité annuelle de N des composts appliquée aux sols (kgN/an) ;*
$FE_{compost}$ *= facteur d'émission de* $NH_3$ *associé au compost (kg* $NH_3$*/kg N) ;*
$F_{digestat}$ *= quantité annuelle de N des digestats appliquée aux sols (kgN/an) ;*
$FE_{digestat}$ *= facteur d'émission de* $NH_3$ *associé au digestat (kg* $NH_3$*/kg N) ;*
$F_{import_déjections}$ *= quantité annuelle de N des déjections importées appliquée aux sols (kgN/an) ;*

*$FE_{déjections}$ = facteur d'émission de $NH_3$ associé aux déjections (kg $NH_3$/kg N).*

Nous allons détailler ci-dessous l'estimation des différents termes de l'équation.

## Engrais synthétiques

Les quantités d'azote apportées en Métropole fournies par l'UNIFA [90] distinguent différentes catégories d'engrais : ammonitrates, sulphate d'ammoniaque, cynamide calcique et nitrate de chaux, urée, solutions azotées, ammoniac anhydre, autres simples et autres composés.

Le guide méthodologique Emep 2023 [1331] propose des facteurs d'émission par défaut pour chacun des types de fertilisants minéraux, en distinguant les sols à pH inférieur ou égal à 7, des sols à pH supérieur à 7. Les pH des sols sont disponibles par cantons (résolution fine) dans la Base de Données d'Analyse des Terres (BDAT)[965]. Une simulation a été menée pour estimer la part des sols à pH inférieur ou égal à 7 des sols à pH supérieur à 7. Cette simulation a donné une répartition globalement équivalente entre ces sols, conduisant à utiliser désormais une approche simplifiée, à partir des FE moyennés entre les deux gammes de pH disponibles dans Emep.

Les facteurs résultants utilisés dans l'inventaire national sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 210 : Facteurs d'émission de $NH_3$ pour les engrais minéraux**

| Type de fertilisant | kg $NH_3$ / kg de N épandu |
|---|---|
| Ammoniac anhydre | 0,020 |
| Nitrate d'ammonium (Ammonitrates) | 0,038 |
| Sulphate d'ammonium | 0,136 |
| Solutions azotées | 0,124 |
| Urée | 0,201 |
| Autres simples N | 0,038 |
| Autres composés | 0,136 |

Depuis 2014, un nouveau type d'engrais est considéré pour le calcul des émissions de $NH_3$ : l'urée avec inhibiteur d'uréase. Pour ces quantités d'engrais, le facteur d'émission par défaut Emep est adapté avec le facteur de réduction proposé par la guidance UNECE [809], qui indique une réduction de 70 % des émissions d'ammoniac.

Par ailleurs, les enquêtes pratiques culturales 2011, 2017 et 2021 menées par le MAA [485] ont permis d'estimer les quantités d'urée et de solution azotée enfouies directement dans les 12h :

- Dans l'enquête 2011 : la part des solutions azotées enfouies dans les 12h a été estimée au niveau national à 1,8 %, celle pour l'urée à 11,4 % ;
- Dans l'enquête 2017 : la part des solutions azotées enfouies dans les 12h a été estimée au niveau national à 7,9 %, celle pour l'urée à 14,0 %.
- Dans l'enquête 2021 : la part des solutions azotées enfouies dans les 12h a été estimée au niveau national à 7,4 %, celle pour l'urée à 14,2 %.

Ces données sont utilisées de la manière suivante sur la période :

- En 1990 : pas d'enfouissement dans les 12h ;
- De 1991 à 2004 : interpolation linéaire entre l'hypothèse d'absence d'enfouissement dans les 12h et les taux issus de l'enquête 2011 ;
- De 2005 à 2011 : application des taux issus de l'enquête 2011 ;
- De 2012 à 2016 : interpolation linéaire entre les taux issus de l'enquête 2011 et ceux issus de l'enquête 2017 ;
- En 2017 : application des taux issus de l'enquête 2017 ;
- De 2018 à 2020 : interpolation linéaire entre les taux issus de l'enquête 2017 et ceux issus de l'enquête 2021 ;
- A partir de 2021 : application des taux issus de l'enquête 2021.

Pour ces quantités enfouies, le facteur d'émission par défaut Emep est adapté avec la plage des facteurs de réduction proposée par les orientations UNECE [809], qui indique une réduction des émissions d'ammoniac entre 50% et 80%. La valeur retenue est la moyenne de ces valeurs, soit 65% de réduction des émissions d'ammoniac.

Pour les territoires Outre-mer, le détail des formes d'engrais appliquées n'est pas connu, seule la quantité totale d'azote recalculée l'est. Par simplification, un facteur d'émission moyen annuel, tous engrais confondus, est recalculé au niveau de la Métropole, et appliqué à l'azote minéral épandu en Outre-mer.

### Épandage des déjections

Le calcul des émissions de $NH_3$ liées à l'épandage des déjections est décrit en section « Gestion des déjections animales - 3.B ».

### Pâture

Le calcul des émissions de $NH_3$ liées aux animaux gérés à la pâture est décrit en section « Gestion des déjections animales - 3.B ».

### Boues

Le facteur d'émission utilisé, tiré d'Emep 2023 [1331] est égal à 0,13 kg $NH_3$/kg N des boues.

### Compost et digestat

Pour les composts et le digestat (hors déjections méthanisées), le facteur d'émission utilisé est celui proposé par défaut par Emep 2023 [1331], pour les « other organic wastes », basé sur l'azote total épandu. Ce facteur d'émission est égal à 0,08 kg $NH_3$/kg N épandu.

### Déjections importées épandues

Le calcul des quantités d'azote importées épandues est présenté dans la section « Caractéristiques de la catégorie », et la répartition des déjections entre porcins et volailles est connue.

Les facteurs d'émission proposés par Emep 2023 sont exprimés à partir de l'azote ammoniacal (TAN). Faute de données précises sur ces déjections, leurs teneurs en TAN par rapport à l'azote total ont été recalculées à partir de données françaises [1298]. On considère pour les déjections d'origines porcines une teneur en TAN de 30%, et de 14% pour les déjections avicoles.

## 5.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

Les incertitudes associées à cette catégorie sont élevées, notamment celles associées aux facteurs d'émission. En effet, la méthodologie employée est complexe car il y a un grand nombre de variables impactant les émissions et des difficultés pour déterminer chacune d'elles sont observées.

Une approche dite « Tier 2 » de simulation numérique « Monte Carlo » a été réalisée en 2013 et mise à jour depuis, pour le secteur des sols agricoles (3.D) sur le protoxyde d'azote $N_2O$. Plus précisément, une simulation « Monte Carlo » a été effectuée pour estimer les incertitudes de chacune des deux activités du 3.D (3.D.1, 3.D.2) en tenant compte des lignes directrices du Giec 2019.

L'activité 3.D.1, relatives aux émissions directes des sols, comprend l'épandage de fertilisants synthétiques et des déjections animales, des résidus de culture, des boues, des digestats, du compost et des animaux à la pâture. L'activité 3.D.2 concerne les émissions indirectes de $N_2O$ (redépositions atmosphériques et lessivage).

La méthodologie utilisée pour évaluer les incertitudes de « Monte Carlo » est celle élaborée par le Giec au travers du guide des bonnes pratiques (cf. « Recommandations du Giec en matière de bonnes pratiques et de gestion des incertitudes pour les inventaires nationaux »– chapitre 6).

Des distributions lognormales ont été appliquées aux paramètres des activités et des facteurs d'émission (100 000 tirages par variables). Les valeurs moyennes sont les valeurs utilisées pour le calcul des émissions de l'inventaire. Les écarts-types relatifs (incertitude ≈ 2 fois l'écart type d'une distribution normale) aux facteurs d'émissions sont déterminés à partir des valeurs disponibles dans le Giec 2019. Pour les données d'activité, les incertitudes prises en compte varient selon les sources concernées. Elles sont par exemple fondées pour l'azote minéral sur la variabilité interannuelle des livraisons UNIFA, ou sur des dires d'experts pour les autres sources.

Les émissions directes de $N_2O$ issue du secteur 3.D.1 ont ainsi une incertitude de 41 %. Les émissions indirectes de $N_2O$ issues du secteur 3.D.2 ont une incertitude de 191 %.

Dans les lignes directrices du Giec 2019, le niveau d'incertitudes sur les facteurs d'émission reste élevé mais est nettement réduit en comparaison de celui associé au facteur d'émission unique disponible dans les lignes directrices de 2006. En conséquence, le niveau d'incertitude baisse pour les émissions du secteur 3D. Une source d'incertitude qui émerge des nouvelles lignes directrices de 2019 est l'appartenance à un climat « humide » ou « sec » (au sens du Giec) pour l'application du facteur d'émission. En effet, en 2006, le Giec considère que 70 % de la France est en climat humide (« moist »), tandis que la révision de 2019 considère que 52 % de la France est en zone humide. Nous estimons une incertitude de 17 % pour ce paramètre. Ces incertitudes se propagent indirectement au niveau des facteurs d'émission selon le type de climat et au niveau des émissions indirectes ($Frac_{LEACH}$ notamment)

Ces résultats d'incertitudes, déterminés par une approche tier 2 »Monte Carlo » à partir d'une simulation fine au niveau des paramètres du calcul des émissions, sont ensuite intégrés, dans une approche mixte tier 1 – tier 2, dans le tableau de calcul tier 1 des incertitudes tout secteur en annexe 6.

Concernant la cohérence temporelle des séries, celle-ci est bien respectée, la même méthodologie est employée pour l'ensemble de la période.

## 5.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3. sont appliquées.

Les statistiques recueillies entrent dans le champ de l'assurance qualité de l'organisme émetteur. Le Citepa effectue également des vérifications internes sur la cohérence des séries dans le temps.

Au niveau national, depuis l'année 2010, un groupe de travail sur les inventaires de l'agriculture se réunit, en moyenne une fois par an pour discuter des méthodologies d'inventaire et de leurs évolutions. Ce groupe inclut un panel important d'experts français (Inrae, Instituts techniques, etc.) sur toutes les questions relatives aux émissions dans l'atmosphère de l'agriculture.

## 5.5.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRT 3D

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 22 611 | 20 974 | 22 851 | 21 482 | 19 914 | 20 516 | 18 863 | 18 657 | 17 647 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 23 020 | 21 288 | 23 179 | 21 814 | 20 426 | 20 848 | 19 174 | 19 714 | 17 950 | 18 168 |
| Différence | kt CO2e | +409 | +314 | +328 | +331 | +512 | +332 | +310 | +1 056 | +304 | +18 168 |
| | % | +2% | +1% | +1% | +2% | +3% | +2% | +2% | +6% | +2% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /3.D

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

Description du recalcul

Les principales modifications impactantes sont listées ci-dessous :

- 3.D.1.a - Engrais minéraux : révision du facteur d'émission sur toute la période (prise en compte de la fertilisation en Corse, révision de certaines fertilisations moyennes, ajout de la fertilisation pour les surfaces toujours en herbe). L'impact moyen annuel est estimé autour de +8 kt $CO_2$e.
- 3.D.1.b.i - Déjections animales : correction d'une erreur sur les déjections importées qui étaient divisées par 1000, mise à jour des données sur la méthanisation et légère révision du temps bâtiment pour les volailles. L'impact moyen annuel est estimé autour de +27 kt $CO_2$e.
- 3.D.1.b.ii - Boues : mise à jour des données d'activité pour 2022 (-5,8 kt $CO_2$e).
- 3.D.1.b.iii - Composts et digestats hors effluents : révision à la hausse en lien avec une correction sur les composts domestiques. Légère révision sur toute la période des quantités d'intrants méthanisés. L'impact moyen annuel est estimé autour de +16 kt $CO_2$e.
- 3.D.1.c - Animaux à la pâture : très faible impact en lien avec la révision du temps bâtiment en volailles.
- 3.D.1.d - Résidus de récolte : révision légèrement à la hausse sur la période en lien avec une correction sur le colza et des ajustements de productions. L'impact moyen annuel - hors 2021 - est estimé autour de +19 kt $CO_2$e. L'impact en 2021 (+610 kt $CO_2$e) est lié à la forte révision des productions de prairies.
- 3.D.1.e - Minéralisation : nouvelle source intégrée cette année dans l'inventaire.
- 3.D.1.f – Histosols : révision des surfaces sur toute la période. L'impact moyen annuel est estimé autour de +25 kt $CO_2$e.
- 3.D.2.a - $N_2O$ indirect lié à la redéposition : forte révision en lien avec l'application des facteurs d'émission $NH_3$ issus d'Emep 2023 (révision à la hausse principalement pour les engrais minéraux). L'impact moyen annuel est estimé autour de +211 kt $CO_2$e.
- 3.D.2.b - $N_2O$ indirect lié au lessivage : révision en lien avec les mises à jour des différents apports. L'impact moyen annuel est estimé autour de +23 kt $CO_2$e.

Raison et justification

Les raisons associées à ces recalculs sont la mise à jour des données d'activité et l'amélioration des méthodologies d'estimation des émissions à travers notamment la prise en compte du nouveau guide Emep 2023. Des erreurs détectées dans le précédent inventaire ont également été corrigées.

### 5.5.6 Améliorations envisagées

Des travaux menés par l'Inrae sont en cours sur des techniques d'intervention sur les émissions de $N_2O$ des sols (impact du chaulage, utilisation des rhizobia symbiotes des légumineuses, inhibiteurs de nitrification…). Ces pistes sont encore à l'étude, l'objectif serait de pouvoir quantifier et faire valoir les évitements d'émissions de $N_2O$ permis par ces techniques.

L'estimation des émissions de $N_2O$ des engrais minéraux pourrait être améliorée en distinguant les apports en rizières.

L'estimation des résidus de récolte en Outre-mer pourrait être améliorée afin de mieux prendre en compte les spécificités des cultures (et de la gestion de leurs résidus) de ces territoires.

# 5.6 Brûlage de résidus agricoles (3F)

## 5.6.1 Caractéristiques de la catégorie

Le brûlage de résidus de culture est une pratique interdite en France pour les grandes cultures : en effet, dans le cadre du respect de la conditionnalité (mesure de bonnes conditions agricoles et environnementales, fixées au niveau national), les agriculteurs qui demandent les aides de soutien de la politique agricole commune sont tenus de ne pas brûler les résidus de paille ainsi que les résidus des cultures d'oléagineux, de protéagineux et de céréales. À titre exceptionnel et par dérogation, ce brûlage est autorisé lorsqu'il s'avère nécessaire pour des motifs sanitaires dûment justifiés. Les règles de dérogations ont changé à partir de 2016, date pour laquelle il n'est plus possible d'obtenir une dérogation pour raisons agronomiques. Certaines surfaces sont donc encore brûlées mais cette pratique demeure peu répandue. Les principales cultures brûlées sont le lin et le riz (pailles riches en silice qui usent le matériel et possèdent un potentiel de dégradation faible). Une part significative des émissions rapportée provient du brûlage des sarments de vigne dont l'activité est tolérée (des restrictions peuvent néanmoins être émises en cas de pic de pollution) et des surfaces de canne à sucre en Outre-mer pour lesquelles le brûlage fait parfois encore partie des pratiques agronomiques.

## 5.6.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/fr/ominea/.

Les émissions sont calculées à partir de l'estimation des superficies brûlées par culture, des quantités de résidus présentes après récolte pour ces cultures et des quantités de matière sèche contenue dans ces résidus. La description complète de la méthode d'estimation des résidus est présentée en annexe « A.6. Estimation des quantités de matière sèche des résidus de culture ».

Pour les vignes, on considère une production moyenne de 3 tonnes de sarments par hectare, avec un taux d'humidité de 50%. Ensuite, l'estimation des quantités de sarments brûlées est basée sur les enquêtes pratiques culturales du SSP 2006, 2013 et 2019 [707]. Dans les enquêtes 2006 et 2013, faute d'information spécifique sur le brûlage, la part brûlée est estimée à partir du taux de restitution des sarments à la parcelle : on considère que les sarments non restitués à la parcelle sont brûlés sur site. Dans l'enquête 2019, la part brûlée est estimée en sommant la part des sarments brûlés sur place et celle des sarments exportés de la parcelle puis brûlés.

Ces données sont utilisées de la manière suivante sur la période :

- De 1990 à 2006 : application des taux issus de l'enquête 2006 ;
- De 2007 à 2012 : interpolation linéaire entre les taux issus de l'enquête 2006 et ceux issus de l'enquête 2013 ;
- De 2014 à 2019 : interpolation linéaire entre les taux issus de l'enquête 2013 et ceux issus de l'enquête 2019 ;
- De 2019 à l'année en cours : application des taux issus de l'enquête 2019.

Pour la canne à sucre, l'estimation des surfaces brûlées est basée sur des publications de l'AMADEPA [708] et du CIRAD [709].

***Émissions de $CO_2$***

Conformément aux règles de la Convention Climat, les émissions de $CO_2$ de la biomasse non ligneuse ne sont pas rapportées dans les inventaires nationaux car considérés inclus dans un cycle court du carbone. Les émissions de $CO_2$ de la biomasse ligneuse sont rapportées dans le secteur utilisation des terres.

***Émissions de $CH_4$, $N_2O$***

La méthodologie utilisée est celle des lignes directrices Giec 2019 [1229]. L'équation utilisée est l'équation 2.27, chapitre 2 [1229], et peut être réécrite de la manière suivante :

Émissions = MS brulée × FE

MS brulée = AGR × FracBurnt × Cf

*Avec :* *MS brulée : Matière sèche des résidus brûlés en kg ;*
*AGR : Matière sèche totale des résidus aériens (kgMS) avant export et brûlage ;*
*FracBurnt : Part des surfaces brulées (ratio)*
*Cf : Facteur de combustion (part de la biomasse effectivement consommée par unité de surface brulée) (ratio) ;*
*FE : facteur d'émission (0,0027 kg $CH_4$ / kg MS brûlée et 0,00007 kg $N_2O$ / kg MS brûlée, tableau 2.5 des lignes directrices du Giec 2019 [1229])*

## 5.6.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 3F).

Les incertitudes associées à cette catégorie sont élevées, notamment celles associées aux facteurs d'émission (respectivement 40 % et 50 % pour le $CH_4$ et le $N_2O$). En effet, les émissions liées au brûlage de résidus agricoles sont fortement dépendantes des conditions d'humidité des résidus et donc très variables. Les incertitudes des facteurs d'émission sont recalculées à partir de valeur par défaut du Giec 2006 et majorées. L'incertitude de la donnée d'activité est quant à elle estimée à 30%.

La cohérence temporelle est bien respectée, la même méthodologie est employée pour l'ensemble de la période.

## 5.6.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3. sont appliquées.

Les statistiques recueillies entrent dans le champ de l'assurance qualité de l'organisme émetteur. Le Citepa effectue également des vérifications internes sur la cohérence des séries dans le temps.

Au niveau national, depuis l'année 2010, un groupe de travail sur les inventaires de l'agriculture se réunit, en moyenne une fois par an pour discuter des méthodologies d'inventaire et de leurs évolutions. Ce groupe inclut un panel important d'experts français (Inrae, Instituts techniques, etc.) sur toutes les questions relatives aux émissions dans l'atmosphère de l'agriculture.

## 5.6.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRT 3F

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 96 | 95 | 103 | 66 | 58 | 42 | 31 | 32 | 32 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 96 | 95 | 103 | 67 | 59 | 42 | 19 | 18 | 18 | 18 |
| Différence | kt CO2e | 0 | +0,10 | +0,15 | +0,39 | +0,086 | -0,15 | -12 | -14 | -14 | +18 |
| | % | 0% | +0% | +0% | +1% | +0% | -0% | -39,09% | -44% | -43% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /3.F

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

Description des recalculs

Raison et justification

Les raisons associées à ces recalculs sont l'amélioration des méthodologies d'estimation des émissions à travers la prise en compte de nouvelles données.

## 5.6.6 Améliorations envisagées

Un travail est en cours pour potentiellement intégrer les émissions liées au brûlage des parcelles de vignes en dépérissement.

D'autres réflexions sont également en cours pour compléter l'inventaire avec les émissions liées au brûlage en arboriculture. Ces émissions ne sont pour l'instant pas comptabilisées faute de données nationales disponibles. Un travail spécifique avec les experts de

la filière pourrait nous aider à émettre des hypothèses robustes sur ces brûlages. En termes de rapportage, il est envisagé de rapporter les émissions du brulage de résidus ligneux (tailles, sarments) des cultures pérennes en UTCATF, ce qui semblerait être la règle préconisée par le CCNUCC dans les tables CRT de rapportage.

# 5.7 Chaulage des terres (3G)

## 5.7.1 Caractéristiques de la catégorie

Le chaulage, c'est-à-dire l'apport au sol d'amendements basiques (roche calcaire broyée, chaux vive, scorie) est pratiqué depuis très longtemps en agriculture. Il permet de lutter contre l'acidification, phénomène qui diminue la fertilité du sol. Les apports sont de plusieurs types : calcaire broyé, dolomie, chaux vive chaux, magnésienne ou chaux éteinte. Les apports sous forme de calcaire et de dolomie entraînent des émissions de $CO_2$ lors de la décarbonatation des carbonates.

Suite à la revue ESD 2020, une source supplémentaire a été incluse, à partir de la soumission d'inventaire 2021. Cette catégorie ne fait pas l'objet d'un rapportage obligatoire. Il s'agit des apports d'engrais contenant du carbone, tels que le calcium ammonium nitrate. Cet apport entraîne des émissions de $CO_2$ lors de la décarbonatation des carbonates. Les émissions sont estimées de la même manière que pour le chaulage (utilisation d'engrais comme donnée d'activité et facteur d'émission basé sur la teneur en carbone).

## 5.7.2 Méthode d'estimation des émissions

Les livraisons d'amendements basiques sont fournies par l'UNIFA [90]. Sont considérés les amendements crus (calcaire + dolomie + Maërl), les amendements mixtes, les amendements engrais, les écumes de sucreries et les autres amendements. Les livraisons d'ammonitrates (tonnes de produit et tonnes d'azote) sont également fournies par l'UNIFA, elles incluent les quantités de calcium ammonium nitrate CAN (ammonitrates bas dosage (N <= 28 %)).

La méthodologie inclut également les émissions de $CO_2$ liées aux écumes de sucreries. Les écumes de sucreries constituent un co-produit lié au procédé de raffinage du sucre utilisé en tant qu'amendement basique en agriculture. Des recherches sur ces produits ont montré que les écumes de sucreries contiennent une part importante d'eau qu'il est donc nécessaire de prendre en compte pour estimer la quantité réelle de carbonate de calcium contenue dans les écumes épandues. Après une recherche bibliographique, il a été considéré que les écumes de sucreries sont en moyenne composées de 24 % de CaO ce qui correspond à 43% de CaCO3 [535]. Par ailleurs, il faut noter que des émissions de $CO_2$ sont prises en compte au niveau des sites de production de sucre (auto-producteur de chaux). Ces émissions ne constituent pas un double-compte dans les inventaires, les émissions au niveau des sites de production et les émissions au niveau des terres agricoles constituant des émissions distinctes.

Les formats de rapportage exigent d'effectuer une séparation entre les amendements calcaires et dolomitiques. Cependant, certains amendements épandus en France sont mixtes : mélange de calcaire et de dolomie, ou mélange d'amendement cuits et crus.

Les quantités d'amendements sont réparties de la façon suivante :

**Tableau 211 : Répartition des amendements carbonés**

| | Calcaire | Dolomie |
|---|---|---|
| Amendement calcaire pulvérisé, broyé ou concassé | 100 % | |
| Amendement calco-magnésien pulvérisé, broyé ou concassé | 50 % | 50 % |
| Maërl pulvérisé, broyé ou concassé | 100 % | |
| Amendement calcique mixte | 50 % | |
| Amendement magnésien mixte | | 50 % |
| Amendements engrais | 25 % | 25 % |
| Carbonate de calcium issu de la production de pâte à papier | 100 % | |
| Dolomie pulvérisée, broyée ou concassée | | 100 % |
| Ecumes de sucreries | 100 % | |

Le total de l'allocation n'est pas de 100% pour les amendements engrais car ils sont constitués pour moitié d'amendements cuits (décarbonés). Pour les écumes de sucreries, ce sont bien les quantités de $CaCO_3$ recalculées qui sont rapportées dans la catégorie calcaire, comme expliqué précédemment.

***Émissions de $CO_2$***

### Amendements carbonés

Les émissions de $CO_2$ liées à l'épandage d'amendements carbonés sont estimées grâce au Giec 2019 [1229].

| |
|---|
| ΔCLime = M_Limestone x EF_Limestone + M_Dolomite x EF_Dolomite |

***Avec :*** ***ΔCLime = Émission annuelle de carbone due à l'application d'amendements carbonés, t C/an ;***
***M=Quantité d'amendements calcaires ($CaCO_3$) ou dolomitique ($CaMg(CO_3)_2$), t C/an ;***
***EF=Facteur d'émission, t C/t amendement (12% pour $CaCO_3$, 13% pour $CaMg(CO_3)_2$)***

***Émissions de $CH_4$***

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

***Émissions de $N_2O$***

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

***Émissions de Gaz fluorés***

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie

## 5.7.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 3G).

L'incertitude liée aux données d'activité est évaluée à 5%, sur la base de la variabilité interannuelle des livraisons. L'incertitude du facteur d'émission est égale à 1 car il correspond à la conversion des masses molaires [Giec 2006 - Volume 4-Ch1].

Pour l'ensemble de la période, les sources statistiques utilisées sont les mêmes afin d'assurer la cohérence temporelle.

## 5.7.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3. sont appliquées.

## 5.7.5 Recalculs

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 915 | 1 049 | 955 | 914 | 802 | 863 | 811 | 781 | 807 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 915 | 1 049 | 955 | 914 | 802 | 863 | 811 | 781 | 807 | 885 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +885 |
| | % | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /3.G

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

Description des recalculs

Pas de recalcul.

### 5.7.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration n'est prévue pour ce sous-secteur.

# 5.8 Épandage d'urée minérale (3H)

## 5.8.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette catégorie concerne les émissions de $CO_2$ liées à l'hydrolyse de l'urée consécutive à l'épandage d'engrais sous forme uréique en agriculture. La forme uréique est contenue dans les engrais granulés de type urée et dans les engrais nommés solutions azotés qui contiennent 50% de leur azote sous forme uréique.

## 5.8.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/fr/ominea/.

La méthodologie utilisée correspond à une méthode de rang 1 du Giec.

***Émissions de $CO_2$***

Les quantités d'urée épandues sont estimées à partir des données de livraisons d'urée (tN) et de solutions azotées (tN) rapportées par l'UNIFA [90]. Afin de limiter les brusques variations liées aux fluctuations interannuelles du prix des denrées agricoles et de l'azote minéral, les données de livraison sont lissées sur 2 années. Ces données lissées sont jugées plus représentatives de la consommation annuelle des agriculteurs : elles permettent de gommer les potentiels effets de stock et de recentrer les usages sur l'année civile et non sur la période de campagne (du 1er juillet au 30 juin pour les engrais azotés). On suppose une répartition égale entre l'urée et l'ammonitrate au sein de la solution azotée. On convertit ensuite ces livraisons (tN) en tonnes, à l'aide des masses molaires de l'urée et de l'azote, pour pouvoir appliquer des facteurs d'émissions du Giec.

L'équation 11.13 des lignes directrices Giec 2006 [799] (pas de mise à jour dans le raffinement 2019 [1229]) est utilisée avec un facteur d'émission de 0,2 kgC-$CO_2$/kg [799].

$$E_{CO2} = M \times EF \times 44/12$$

*Avec :* *$ECO_2$ : Emissions annuelles de $CO_2$ liées à l'épandage d'urée (t $CO_2$/an) ;*
*M : Masse d'urée (t/an) ;*
*EF: Facteur d'émission (tC-$CO_2$/t) ;*
*44/12 : Conversion des tC-$CO_2$ en t$CO_2$.*

***Émissions de $CH_4$***

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

***Émissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ sont rapportées et décrites dans la section « Sols agricoles – 3D ».

***Émissions de Gaz fluorés***

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie

## 5.8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 3H).

L'incertitude liée aux données d'activité est évaluée à 5 %, sur la base de la variabilité interannuelle des livraisons. L'incertitude du facteur d'émission est égale à 1 car il correspond à la conversion des masses molaires [Giec 2006 - Volume 4-Ch11].

Pour l'ensemble de la période, les sources statistiques utilisées sont les mêmes afin d'assurer la cohérence temporelle.

## 5.8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3. sont appliquées.

## 5.8.5 Recalculs

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 865 | 821 | 874 | 892 | 935 | 1 082 | 1 098 | 1 015 | 955 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 865 | 821 | 874 | 892 | 935 | 1 082 | 1 098 | 1 015 | 955 | 1 092 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +1 092 |
| | % | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /3.H

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

Description des recalculs

Pas de recalculs.

## 5.8.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration n'est prévue pour ce sous-secteur.

# 5.9 Épandage d'engrais contenant du carbone (3I)

## 5.9.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette catégorie concerne les émissions de $CO_2$ suite aux apports d'engrais contenant du carbone, tels que le calcium ammonium nitrate. Cet apport entraîne des émissions de $CO_2$ lors de la décarbonatation des carbonates. Les émissions sont estimées de la même manière que pour le chaulage (utilisation d'engrais comme donnée d'activité et facteur d'émission basé sur la teneur en carbone). Ces émissions ont été ajoutées suite à une remarque faite lors de la revue ESD 2020, leur rapportage n'est pas obligatoire.

## 5.9.2 Méthode d'estimation des émissions

Les livraisons d'ammonitrates (tonnes de produit et tonnes d'azote) sont fournies par l'UNIFA [90], à partir desquelles est estimée la quantité de calcium ammonium nitrate CAN (compris dans les ammonitrates bas dosage (N <= 28%)).

***Émissions de $CO_2$***

### Calcium Ammonium Nitrate

Comme mentionné plus haut, les données de livraisons fournies par l'UNIFA sont utilisées. Comme cela est fait pour les estimations des émissions azotées de la catégorie 3D_agricultural soils, afin de limiter les brusques variations liées aux fluctuations interannuelles du prix des denrées agricoles et de l'azote minéral, les données de livraisons annuelles sont lissées sur 2 campagnes. Ces données lissées sont jugées plus représentatives de la consommation annuelle des agriculteurs car elles permettent de gommer les potentiels effets de stock (livraison ≠ apports) et de recentrer les usages sur l'année civile et non sur la période de campagne (du 1er juillet au 30 juin pour les engrais azotés).

$$\text{Apport } 2021 = \frac{livraisons\ {}^{2019}/_{2020} + livraisons\ 2020/2021}{2}$$

A partir de cette quantité lissée d'azote des ammonitrates et des poids molaires du nitrate d'ammonium ($NH_4NO_3$), on obtient le tonnage de nitrate d'ammonium :

Tonnes de $NH_4NO_3$ = tonnes de N lissées Ammonitrates x $MM_{NH4NO3}$ / ($MM_N$ x 2)

*Avec : MM = Masse molaire (80 g/mol pour le $NH_4NO^3$ et 14 g/mol pour le N*

La part des composants calcaire ou dolomite est ensuite déduite par différence entre les tonnes lissées de produits (incluant du calcaire et de la dolomie) et les tonnes estimées de $NH_4NO_3$ :

Tonnes Calcaire ou dolomite = tonnes de Produit lissées Ammonitrates - tonnes de $NH_4NO_3$

On en déduit les émissions de $CO_2$ :

ΔCAN = M_Calaire ou dolomite x moyenne (EF_Dolomite ; EF_Calcaire)

*Avec : ΔCAN =Emission annuelle de carbone due à l'application d'ammonitrates (AN), t C/an ;*
*M=Quantité de calcaire ou dolomite contenue dans les AN, t C/an ;*
*EF = Facteur d'émission, t C/t amendement (12% pour $CaCO_3$, 13% pour $CaMg(CO_3)_2$)*

Les émissions de $CO_2$ totales sont obtenues ainsi :

$CO_2$ (t $CO_2$/an) = (ΔCLime + ΔCAN) * 44/12

Émissions de $CH_4$

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

***Émissions de $N_2O$***

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

***Émissions de Gaz fluorés***

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

## 5.9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 3I).

L'incertitude liée aux données d'activité est évaluée à 5%, sur la base de la variabilité interannuelle des livraisons de l'UNIFA. L'incertitude du facteur d'émission est évaluée à 4%, sur la base de l'écart de la moyenne des FE calcaire/dolomie pris en compte pour le calcul des émissions par rapport aux données des FE calcaire/dolomie pris séparément.

Pour l'ensemble de la période, les sources statistiques utilisées sont les mêmes afin d'assurer la cohérence temporelle.

## 5.9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3. sont appliquées.

## 5.9.5 Recalculs

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 125 | 115 | 155 | 162 | 173 | 168 | 153 | 164 | 163 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 125 | 115 | 155 | 162 | 173 | 168 | 153 | 164 | 163 | 145 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +145 |
| | % | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /3.I

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

Description des recalculs

Pas de recalculs.

## 5.9.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration n'est prévue pour ce sous-secteur.



# 6. UTCATF (CRT 4)

# 6.1 Présentation générale du secteur

*Composition du secteur UTCATF*

Le secteur UTCATF comptabilise les flux de GES entre différents réservoirs de carbone terrestres (biomasse, sols, etc.) et l'atmosphère ainsi que certaines émissions associées (émissions du brûlage sur site non agricole, etc.). Ce secteur intègre aussi une catégorie à part : les produits ligneux récoltés (produits bois), pour lesquels des flux de carbone et donc de $CO_2$ sont rapportés.

De son côté, le secteur Agriculture conserve les émissions des sols liées à la fertilisation et à l'élevage ainsi que les émissions de particules liées au travail du sol. Avec l'application des lignes directrices du Giec 2006, le secteur agricole intègre aussi les émissions de $CO_2$ liées à la décarbonatation des amendements agricoles autrefois rapportés en UTCATF.

Ces deux secteurs excluent les émissions liées à l'utilisation énergétique aussi bien en sylviculture et en agriculture, ces dernières étant prises en compte dans la catégorie CRT 1A4c du secteur Energie.

Le secteur UTCATF a la grande particularité de pouvoir constituer des puits de carbone, et de compenser ainsi une partie des émissions de $CO_2$. Il se distingue également des autres secteurs de l'inventaire par le fait qu'il n'est pas centré sur des processus d'émission bien matérialisés comme des usines, des bâtiments, des véhicules, etc.[30] mais sur des unités géographiques telles que les forêts, les cultures, les prairies, les zones humides, etc. En pratique, ces unités géographiques conduisent à considérer de nombreux paramètres comme l'occupation, l'utilisation, l'historique des terres ou encore le climat.

Les substances visées sont les gaz à effet de serre direct ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$) et les polluants ayant un effet indirect (NOx, CO en particulier) car cette section est essentiellement concernée par l'impact de ces activités sur les changements climatiques. Toutefois, les émissions de COVNM biotiques sont également considérées.

*Niveau de méthode appliqués*

**Tableau 212 : Détails relatifs au suivi des terres (*land representation*)**

| ***Suivi des terres (land representation)*** | | |
|---|---|---|
| **Zone** | France métropolitaine | Outre-mer inclus dans l'UE |
| **Approche** | Approche 3 - spatialement explicite | Approche 3 (sauf Mayotte) |
| **Unité minimale de suivi** | 0,25 ha | *voir description par territoire* |
| **Surface minimale de définition de la forêt** | 0,5 ha | 0,5 ha |
| **% du territoire géré** | 100% | 100% |

[30] Il est à noter que ce mode de comptabilisation date du guide des bonnes pratiques UTCF 2003, il existait un autre mode de comptabilisation auparavant qui s'appuyait sur des processus (gestion forestière, conversion des terres, abandon de terres cultivées, etc.).

**Tableau 213 : Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour le CO2 (France métropolitaine)**

| Catégorie de terres | Biomasse vivante | | | Bois mort | | | Litière | | | Sols | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | Sols minéraux | | | sols organiques |
| | spat. | temp. | source | spat. | temp. | source | spat. | temp. | source | spat. | temp. | source | |
| Forest Land remaining Forest Land | O | N | CS | O | N | CS | N | N | CS | O | N | CS | *NO* |
| | + Flux additionnels | | | + Flux additionnels | | | | | | | | | |
| Land converted to Forest Land | O | N | CS | O | N | CS | N | N | CS | O | N | CS | *NO* |
| | + Flux additionnels | | | | | | | | | | | | |
| Cropland remaining Cropland | N | N | CS | N* | N | H* | N | N | H* | O | O | CS | T2 |
| | + Flux additionnels | | | | | | | | | | | | |
| Land converted to Cropland | N | N | CS | N | N | H | N | N | H | O | O | CS | *NO* |
| Grassland remaining Grassland | N | N | CS | N* | N | H* | N | N | H* | O | O | CS | T2 |
| | + Flux additionnels | | | | | | | | | | | | |
| Land converted to Grassland | N | N | CS | N | N | H | N | N | H | O | O | CS | *NO* |
| Wetlands remaining Wetlands | N | N | H | N | N | H | N | N | H | N | N | CS | T2 |
| Land converted to Wetlands | N | N | H | N | N | H | N | N | H | N | N | CS | *NO* |
| Settlements remaining Settlements | N | N | H* | N | N | H* | N | N | H* | N | N | CS | *NO* |
| Land converted to Settlements | N | N | H* | N | N | H* | N | N | H* | N | N | CS | *NO* |
| Other Land remaining Other Land | *NA* | | | *NA* | | | *NA* | | | *NA* | | | |
| Land converted to Other Land | N | N | H | N | N | H | N | N | H | N | N | H | *NO* |

Estimé via le modèle de variation de stock à la maille
Détail calibration modèle :
spat. Stock de référence spatialisé (par région, par sylvoécorégion...) ? O : Oui, N : Non
temp. Stock de référence avec variation temporelle ? O : Oui, N : Non
source CS : Country specific, H : considéré nul par hypothèse
*certaines sous-catégories sont assimilées à "Forêt mixte", se référer à la ligne forêt
Flux additionnel : récoltes, accroissement IFN, tempêtes...

Ci-après un exemple de lecture du tableau relatif à la méthode appliquée en France métropolitaine : dans la catégorie Forêt restant Forêt (Forest Land remaining Forest Land), les émissions et absorptions liées au réservoir Bois mort sont estimées via le modèle de variation de stock par maille. Le stock de référence varie spatialement, mais il ne varie pas dans le temps. La source d'estimation des stocks provient d'une donnée nationale. Des flux additionnels sont calculés et s'ajoutent aux résultats du modèle de variation de stock à la maille.

Les cellules en bleu dans le tableau ci-dessus sont toutes estimées via un modèle de variation de stock par maille, ce qui les rend a priori compatibles avec des méthodes de niveau 3 (tier 3). Selon l'interprétation des méthodologies des lignes directrices du Giec 2006 [672], une traduction en termes de niveau de méthode (tiers) est présentée dans le tableau ci-dessous, en fonction du type de stock de référence utilisé. Un stock spatialisé n'influence a priori pas le niveau de tier, mais

c'est l'évolution de ce stock au sein d'une sous-catégorie au cours du temps qui est déterminant. Des subtilités d'interprétation existent, c'est pourquoi le descriptif du premier tableau a été retenu.

**Tableau 214 : Lien entre le niveau de détail du modèle et les exigences de tier**

| | Compatible avec un tier… | | |
|---|---|---|---|
| Caractéristiques du stock de référence du modèle : | T1 | T2 | T3 |
| spat = N | ✓ | ✓ | |
| spat = O | ✓ | ✓ | ✓ |
| temp = N | ✓ | | |
| temp = O | ✓ | ✓ | ✓ |
| source = CS | ✓ | ✓ | ✓ |
| source = H | ✓ | ✓ | |

Pour les territoires d'Outre-Mer inclus dans l'UE, les niveaux de méthodes appliqués sont décrits ci-dessous.

**Tableau 215: Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour l'Outre-Mer (inclus dans l'UE)**

| Niveaux méthodologiques (tiers) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Catégorie de terres** | **Biomasse vivante** | **Bois mort** | **Litière** | **Sols** | |
| | | | | **Sols minéraux** | **Sols organiques** |
| Forest land remaining forest land | T2 | NA | NA | NA | NO |
| Land converted to forest land | T2 | T2 | T2 | T2 | NO |
| Cropland remaining cropland | NA | NA | NA | NA | T2 |
| Land converted to cropland | T2 | T2 | T2 | T2 | NO |
| Grassland remaining grassland | NA | NA | NA | NA | T2 |
| Land converted to grassland | T2 | T2 | T2 | T2 | NO |
| Wetlands remaining wetlands | NA | NA | NA | NA | NO |
| Land converted to wetlands | T2 | T2 | T2 | T2 | NO |
| Settlements remaining settlements | NA | NA | NA | NA | NO |
| Land converted to settlements | T2 | T2 | T2 | T2 | NO |
| Other land remaining other land | NA | NA | NA | NA | NA |
| Land converted to other land | T2 | T2 | T2 | T2 | NO |

*NA : not applicable, or tier 1 equilibrium*
*T2 : tier 2*

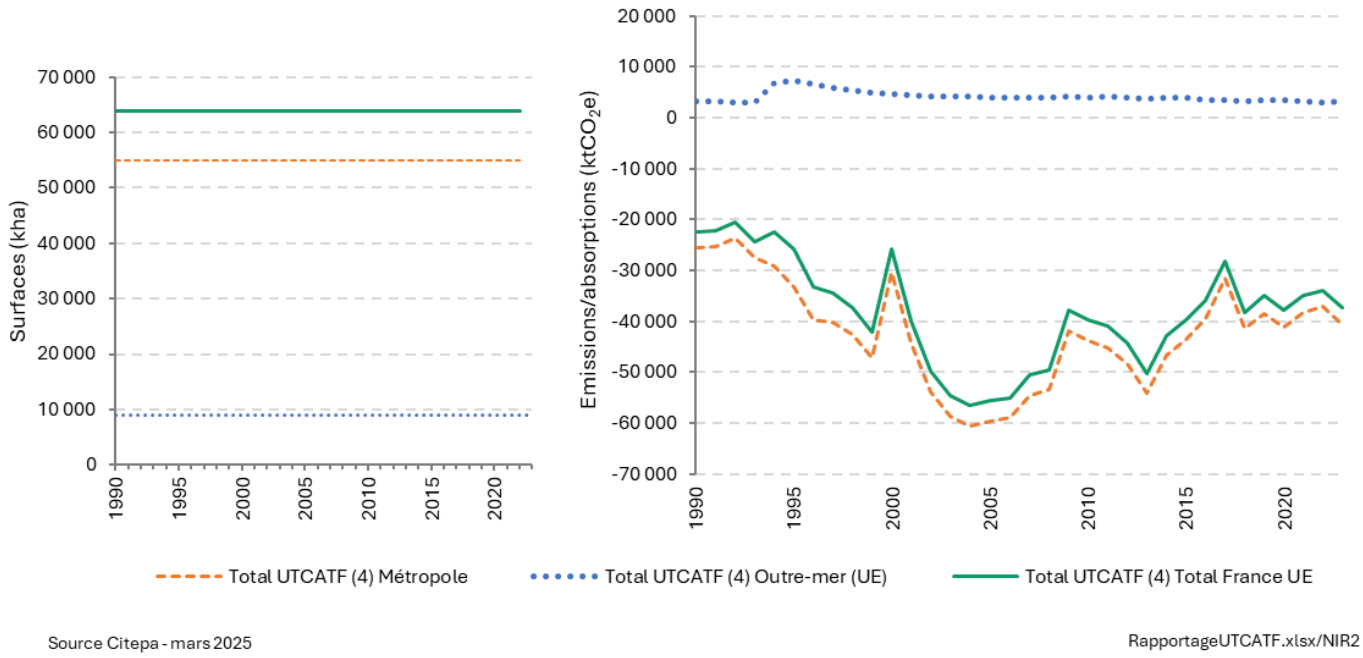
**Tableau 216 : Catégories du secteur UTCATF estimées (O = Oui / N = Non) dans l'inventaire français**

| | | Forêt | Cultures | Prairies | Zones humides | Artificiel | Autres terres | Produits ligneux récoltés | Autres |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 4A | 4B | 4C | 4D | 4E | 4F | 4G | 4H |
| () | Variation des stocks de différents réservoirs de carbone | O | O | O | O | O | N | | |
| (I) | Emissions directes de $N_2O$ liées à la fertilisation | N | O* | O* | N | N | N | | |
| (II) | Emissions de $CH_4$ et $N_2O$ liées au drainage ou à la remise en eau | N | O | O | N | N | N | | |
| (III) | Emissions de $N_2O$ liées à la minéralisation des sols | O | O** | O** | N | O | N | | |
| (IV) | Emissions indirectes de $N_2O$ | O | O** | O** | N | N | N | | |
| (V) | Emissions de $CO_2$, $CH_4$ et $N_2O$ liées au brûlage sur site | O | O** | O** | O | O | N | | |
| | Produits ligneux récoltés | | | | | | | O | |
| | Autres | | | | | | | | O |

O* : Emissions intégralement rapportées dans le secteur agriculture
O** : Emissions partiellement rapportées dans le secteur agriculture

*Evolution du bilan net du secteur UTCATF*

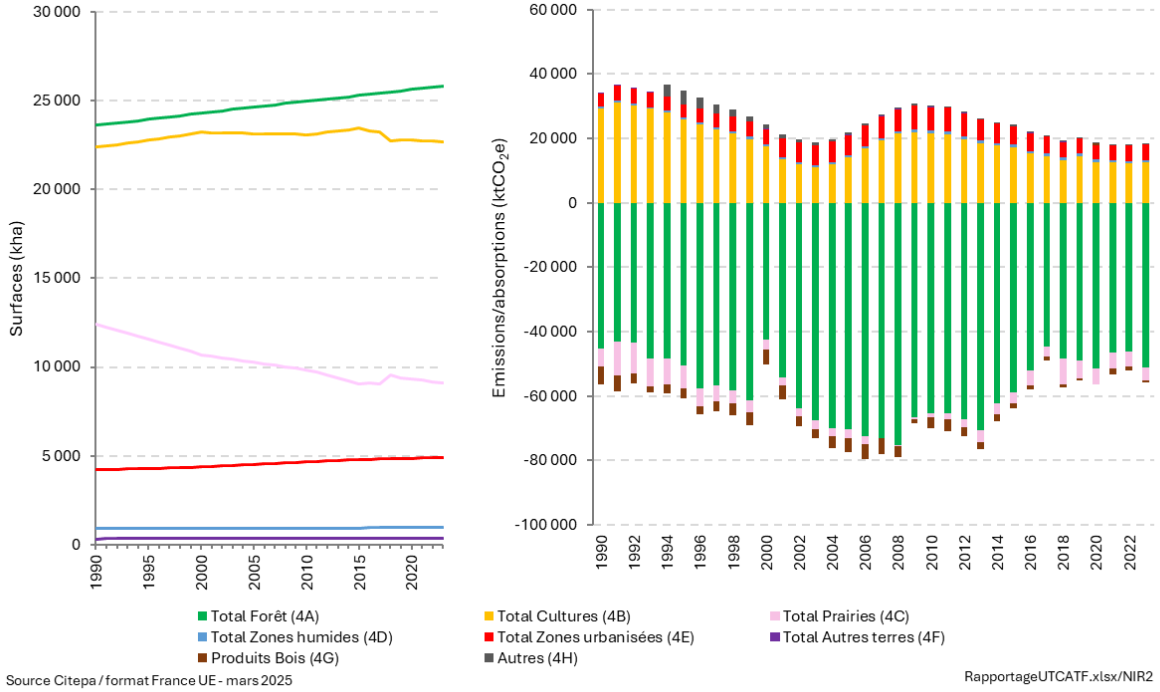
Le secteur UTCATF présente de fortes incertitudes et l'interprétation de son évolution interannuelle doit se faire avec prudence. En France, le bilan net du secteur UTCATF est un puits net : les absorptions (croissance de la biomasse en forêt, boisement…) compensent les émissions (mortalité et prélèvement de la biomasse en forêt, déboisement, artificialisation…). Ce puits net connaissait une tendance générale à la hausse entre 1990 et 2008, malgré une baisse ponctuelle liée à la tempête de 1999. La croissance des arbres et un taux de récolte peu intensif expliquaient une capitalisation des arbres sur pied. A cette croissance en volume s'ajoutait une croissance en surface de la forêt française. Depuis 2008 et surtout depuis 2013, ce puits a connu une stagnation puis une forte baisse, surtout du fait d'une hausse de la mortalité des arbres par l'effet de sécheresses et d'épisodes sanitaires et d'un ralentissement de la croissance, et aussi d'une hausse des prélèvements.




Source Citepa - mars 2025

RapportageUTCATF.xlsx/NIR2

**Figure 176 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF pour la métropole et l'Outre-mer (UE)**




Source Citepa / format France UE - mars 2025

RapportageUTCATF.xlsx/NIR2

**Figure 177 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF par catégorie CRT**

**Tableau 217 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF pour la métropole et l'Outre-mer (UE)**

| | Surfaces (1000 ha) | | | Emissions / Absorptions (ktCO2e) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total UTCATF (CRT 4) | | | Total UTCATF (CRT 4) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -25 532 | 3 168 | -22 364 |
| 1991 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -25 288 | 3 184 | -22 104 |
| 1992 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -23 566 | 3 050 | -20 516 |
| 1993 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -27 437 | 2 966 | -24 471 |
| 1994 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -29 263 | 6 792 | -22 470 |
| 1995 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -33 175 | 7 370 | -25 804 |
| 1996 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -39 679 | 6 476 | -33 203 |
| 1997 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -40 234 | 5 762 | -34 472 |
| 1998 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -42 577 | 5 306 | -37 270 |
| 1999 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -47 154 | 4 937 | -42 216 |
| 2000 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -30 392 | 4 578 | -25 813 |
| 2001 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -44 245 | 4 389 | -39 856 |
| 2002 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -53 953 | 4 243 | -49 710 |
| 2003 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -58 683 | 4 170 | -54 513 |
| 2004 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -60 518 | 4 104 | -56 414 |
| 2005 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -59 556 | 4 024 | -55 532 |
| 2006 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -58 903 | 3 956 | -54 947 |
| 2007 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -54 477 | 3 922 | -50 555 |
| 2008 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -53 425 | 3 982 | -49 443 |
| 2009 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -41 849 | 4 106 | -37 743 |
| 2010 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -43 834 | 4 045 | -39 788 |
| 2011 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -45 118 | 4 100 | -41 019 |
| 2012 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -48 295 | 4 040 | -44 254 |
| 2013 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -54 007 | 3 760 | -50 247 |
| 2014 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -46 675 | 3 902 | -42 773 |
| 2015 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -43 610 | 3 951 | -39 658 |
| 2016 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -39 355 | 3 485 | -35 870 |
| 2017 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -31 468 | 3 365 | -28 103 |
| 2018 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -41 500 | 3 343 | -38 158 |
| 2019 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -38 449 | 3 426 | -35 024 |
| 2020 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -41 129 | 3 386 | -37 743 |
| 2021 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -38 237 | 3 278 | -34 959 |
| 2022 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -37 068 | 3 099 | -33 968 |
| 2023 | 54 920 | 8 939 | 63 859 | -40 666 | 3 290 | -37 376 |

*Analyse en catégories sources-clés (key category analysis)*

**Tableau 218 : Substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en niveau (2023)**

| Sous-secteur | GES | Niveau Rang | Contribution (%) |
|---|---|---|---|
| 4A1 - Forest Land remaining Forest Land | $CO_2$ | 3e | 8,0% |
| 4A2 - Land converted to Forest Land | $CO_2$ | 5e | 3,3% |
| 4B2 - Land converted to Cropland | $CO_2$ | 9e | 2,5% |
| 4E - Settlements | $CO_2$ | 21e | 1,1% |
| 4C2 - Land converted to Grassland | $CO_2$ | 26e | 0,8% |

**Tableau 219 : Substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en tendance (1990-2023)**

| Sous-secteur | GES | Evolution Rang | Contribution (%) |
|---|---|---|---|
| 4A2 - Land converted to Forest Land | $CO_2$ | 3e | 5,4% |
| 4G - Harvested wood products | $CO_2$ | 8e | 2,8% |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4B2 - Land converted to Cropland | $CO_2$ | 13e | 2,3% |
| 4C2 - Land converted to Grassland | $CO_2$ | 20e | 1,2% |
| 4A1 - Forest Land remaining Forest Land | $CO_2$ | 21e | 1,1% |
| 4E - Settlements | $CO_2$ | 26e | 0,9% |
| 4C1 - Grassland remaining Grassland | $CO_2$ | 51e | 0,3% |
| 4B2 - Land converted to Cropland | $N_2O$ | 57e | 0,3% |

Pour un maximum de clarté, ce document méthodologique présente une section commune détaillée sur la représentation des terres, les réservoirs de carbone et les méthodes communes à l'ensemble des terres. Les méthodes spécifiques aux types de terres sont présentées dans les autres parties à la suite.

***Sections spécifiques basées sur les catégories CRT :***

- Forêts (section 4A),
- Terres cultivées (section 4B),
- Prairies (section 4C),
- Terres humides (section 4D),
- Zones urbanisées (section 4E),
- Autres terres (section 4F),
- Produits ligneux récoltés (section 4G),
- Autres (section 4H).

# 6.2 Définitions des types de terres

## 6.2.1 Forêts

*Définition de « terres forestières » et sous-catégories*

En application des accords de Marrakech de 2001 [189], la France retient, pour sa définition de la forêt, les valeurs minimales suivantes :

| | Couverture du sol par les houppiers d'essences ligneuses | Superficie | Hauteur des arbres à maturité | Largeur |
|---|---|---|---|---|
| *Seuil* | 10 % | 0,5 ha | 5 m | 20 m |

**Formations inclues et exclues de la définition de « Forêt »**

Une forêt peut être constituée soit de formations denses dont les divers étages arborés couvrent une forte proportion du sol, soit de formations claires. Les jeunes peuplements naturels et toutes les plantations composées d'essences ligneuses susceptibles d'atteindre 5 mètres de hauteur à maturité mais dont le houppier ne couvre pas encore 10% de la superficie sont classées dans la catégorie « Forêt », de même que les zones faisant normalement partie des terres forestières, temporairement déboisées par suite d´une intervention humaine ou de phénomènes naturels, mais qui devraient redevenir des forêts dans la limite de 5 ans suivant le déboisement.

Le terme « forêt » inclut les routes qui traversent les forêts, les pare-feux et les autres ouvertures de faible superficie, dont la largeur est inférieure à 20 m. Les haies brise-vent, les rideaux-abris arborés et les couloirs d'arbres ayant une superficie supérieure à 0,5 ha et une largeur de plus de 20 m sont également inclus dans la définition de forêt.

En revanche, les peuplements d'arbres respectant les seuils définis mais dont l'affectation est majoritairement non-forestière (vergers, parcs urbains, jardins etc.) sont exclus de la catégorie « Forêt ».

Cette définition de la forêt est conforme à celle communiquée antérieurement à l'Organisation de l'ONU pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), dans le cadre notamment des enquêtes FRA 2005, FRA 2010, FRA 2015, FRA 2020.

**Tableau 220 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Terres Forestières**

| Niveau 1 (usage général) | | | Niveau 2 (usage précis) | | | Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2** | | Végétation naturelle et semi-naturelle | 21 | | Forêt | 210 | Forêt indéfinie |
| | | | | | | 21ff | Forêt feuillus |
| | | | | | | 21fc | Forêt conifères |
| | | | | | | 21fm | Forêt mixte |
| | | | | | | 21fp | Peupleraies |
| | | | | | | 21mg | Mangroves |

*Définitions de « Gestion forestière » et « Forêt gérée »*

En France, l'ensemble du territoire est considéré géré quelle que soit la catégorie d'utilisation des terres (voir partie LULUCF générique).

Une forêt est gérée au sens de la CCNUCC lorsqu'elle fait l'objet d'opérations de gestion forestière visant à administrer ses fonctions écologiques, économiques et sociales. Le terme « opération de gestion forestière » recouvre les actions de coupes ou de travaux forestiers mais également les actions de planification forestière, d'accueil du public en forêt ou de protection des écosystèmes forestiers.

En application de cette définition, la totalité des surfaces forestières (métropole et outre-mer) est considérée gérée. Certaines forêts sont peu ou pas exploitées d'un point de vue sylvicole, mais sont gérées, par exemple sous le régime des Parcs Naturels Nationaux.

*Définitions de « terres forestières restant terres forestières » et « terres devenant terres forestières »*

## 6.2.2 Cultures

*Définition de « terres cultivées » et sous-catégories*

La catégorie des « terres cultivées », ou « Cultures », comprend les terres cultivées et labourées, les prairies temporaires et les jachères, ainsi que les parcelles en agroforesterie pour lesquelles la définition de forêt ne s'applique pas.

Cette catégorie comprend les sous-catégories suivantes :

- Les cultures annuelles, légumes et fleurs (céréales, racines et tubercules, cultures industrielles, légumes secs, légumes frais, fleurs).
- Les cultures permanentes qui restent en place pendant plus d'une campagne agricole (arbres fruitiers, baies, vignes, oliviers, pépinières, etc.).
- Les prairies temporaires et jachères (une prairie est dite temporaire lorsque le semis date d'au maximum 5 ans lors de l'enquête ce qui représente un maximum de 6 récoltes).

**Tableau 221 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Terres Cultivées**

| Niveau 1 (usage général) | | | Niveau 2 (usage précis) | | | Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Agricole | 10 | | Agricole à définir | 100 | Agricole indéfini |
| | | | 11 | | Cultures annuelles, légumes et fleurs | 110 | Cultures annuelles, légumes et fleurs indéfinies |
| | | | | | | 11bh | Blé tendre d'hiver |
| | | | | | | 11bp | Blé tendre de printemps |
| | | | | | | 11dh | Blé dur d'hiver |
| | | | | | | 11dp | Blé dur de printemps |
| | | | | | | 11cz | Colza |
| | | | | | | 11ah | Avoine d'hiver |
| | | | | | | 11ap | Avoine de printemps |
| | | | | | | 11lf | Légumes ou fleurs |
| | | | | | | 11be | Betterave industrielle |
| | | | | | | 11cf | Choux, racines et tubercules fourragers |
| | | | | | | 11ci | Autres cultures industrielles |
| | | | | | | 11ls | Légumes secs |
| | | | | | | 11mf | Maïs fourrage |
| | | | | | | 11mg | Maïs grain |
| | | | | | | 11oh | Orge d'hiver |
| | | | | | | 11op | Orge de printemps |
| | | | | | | 11xc | Autres céréales |
| | | | | | | 11pf | Plantes à fibres |
| | | | | | | 11pg | Pois protéagineux |
| | | | | | | 11pm | Pomme de terre |
| | | | | | | 11sh | Seigle d'hiver |
| | | | | | | 11so | Sorgho |
| | | | | | | 11sp | Seigle de printemps |
| | | | | | | 11th | Triticale d'hiver |
| | | | | | | 11to | Tournesol |
| | | | | | | 11tp | Triticale de printemps |
| | | | | | | 11xf | Autres fourrages annuels |
| | | | | | | 11xo | Autres oléagineux |
| | | | | | | 11xp | Autres protéagineux |
| | | | 12 | | Cultures permanentes | 120 | Cultures permanentes indéfinies |
| | | | | | | 12vi | Vignes |
| | | | | | | 12ol | Oliveraies |
| | | | | | | 12cq | Fruits à coque |
| | | | | | | 12af | Autres arbres fruitiers |
| | | | | | | 12cp | Autres cultures permanentes |
| | | | 13 | | Prairies temporelles et jachères | 130 | Prairies temporaires et jachères indéfinies |
| | | | | | | 13pa | Prairies artificielles |
| | | | | | | 13pt | Prairies temporaires |
| | | | | | | 13jh | Jachères |

*Définition de « terres cultivées gérées » (*managed cropland*)*

Dans le cadre du règlement européen 2018/841 dit LULUCF, pour la première période de rapportage (2021-2025), les « terres cultivées gérées » correspondent aux terres cultivées restant terres cultivées ; aux prairies, zones humides, établissements ou autres terres, convertis en terres cultivées ; et aux terres cultivées converties en zones humides, établissements ou autres terres.

*Définition de « terres cultivées restant terres cultivées » et « terres devenant terres cultivées »*

## 6.2.3 Prairies

*Définition de « Prairie » et sous-catégories*

La catégorie des « Prairies » est la traduction de la catégorie « Grassland » du Giec. Cette catégorie ne correspond pas à la définition usuelle du terme « prairies » en français : elle inclut les superficies en herbe et des surfaces arborées ou recouvertes d'arbustes qui ne correspondent pas à la définition de la forêt et ne rentrent pas dans les catégories culture ou zone artificialisée.

Cette catégorie comprend les sous-catégories suivantes :

- Prairies permanentes. Il s'agit des zones couvertes d'herbe d'origine naturelle ou qui ont été semées il y a plus de 5 ans (contrairement aux prairies temporaires comptées en terres cultivées).
- Végétation naturelle et semi-naturelle hors forêt (Bosquet (surface boisée < 0,5 ha) ; Landes, clairières, broussailles ; Maquis, garrigues ; Alpages, pelouses naturelles ; Prairies arbustives.

Ces classes d'occupation du sol se distinguent par des différences de présence et densité de biomasse (strate arborée, arbustive et herbacée) : leur stock de carbone dans la biomasse et dans les sols est donc différent.

**Tableau 222: Extrait de la nomenclature pour la catégorie Prairies**

| Niveau 1 (usage général) | | Niveau 2 (usage précis) | | Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Agricole | 14 | Prairies permanentes | 14pp | Prairies permanentes |
| 2 | Végétation naturelle et semi-naturelle | 22 | Végétation naturelle hors forêt | 220 | Végétation naturelle hors forêt indéfinie |
| | | | | 22bq | Bosquet |
| | | | | 22la | Landes, clairières, broussailles |
| | | | | 22mq | Maquis, garrigues |
| | | | | 22pe | Alpages, pelouses naturelles |

*Définition de « prairies gérées » (*managed grassland*)*

Dans le cadre du règlement européen 2018/841 dit LULUCF, pour la première période de rapportage (2021-2025), les « prairies gérées » correspondent aux prairies restant prairies ; terres cultivées, zones humides, établissements ou autres terres, convertis en prairies ; et prairies converties en zones humides, établissements ou autres terres.

*Définition de « prairies restant prairies » et « terres devenant prairies »*

## 6.2.4 Zones humides

*Définition de « terres humides »*

La catégorie des « Terres humides », ou zones humides, est la traduction de la catégorie « Wetlands » du Giec. Cette catégorie ne correspond pas exactement à la définition des zones humides de la Convention Ramsar ou utilisée dans d'autres contextes.

Dans le cadre de l'inventaire UTCATF, il s'agit à la fois des zones humides et en eau : terres recouvertes ou saturées d'eau pendant tout ou une partie de l'année et qui n'entrent pas dans l'une des autres catégories (hormis la catégorie "Autres terres"). Cette catégorie exclut donc les sols organiques cultivés ou sous prairie. En effet, des terres en sols organiques

peuvent appartenir à différents usages des terres, pas uniquement « Zones humides », même si dans d'autres contexte ces sols organiques sont appelés *zones humides*. Cette catégorie inclut notamment les retenues d'eau, les rivières et les lacs.

Pour le calcul des flux de carbone, l'inventaire distingue les classes d'occupation du sol suivantes : Zone en eau naturelle (mer, océan, lac, rivière…) ; Zone inondée (artificiellement) - bassins, aquaculture, étang de pisciculture, zones de stockage de l'eau ; Tourbières (exploitées ou non) ; Marais salants et Autres zones humides (roselières…).

**Tableau 223 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Zones humides**

| Niveau 1 (usage général) | | | Niveau 2 (usage précis) | | | Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | | Autres | 41 | | Zones humides et en eau | 410 | Zones humides et en eau indéfinies |
| | | | | | | 41ea | Zone en eau naturelle (mer, océan, lac, rivière…) |
| | | | | | | 41in | Zone inondée (artificiellement) - bassins, aquaculture, étang de pisciculture, zones de stockage de l'eau |
| | | | | | | 41tb | Tourbières |
| | | | | | | 41ms | Marais salants |
| | | | | | | 41zh | Autres zones humides (roselières…) |

*Définition de « terres humides gérées » (*managed wetlands*)*

Dans le cadre du règlement européen 2018/841 dit LULUCF, pour la seconde période de rapportage (2026-2030), les « zones humides gérées » correspondent aux zones humides restant zones humides ; établissements ou autres terres convertis en zones humide ; et zones humides converties en établissements ou autres terres.

*Définition de « terres humides restant terres humides » et « terres devenant terres humides »*

## 6.2.5 Zones artificialisées ou Etablissements

*Définition de « zones artificialisées »*

Zones artificialisées est l'expression usuellement employée dans le cadre de l'inventaire UTCATF de la France pour traduire le terme du Giec « *Settlements* », dont la traduction officielle est « Etablissements ». Le terme « artificialisé » ne doit pas être compris ici dans un sens strict (la majorité du paysage en France étant, à un certain degré, marqué par l'anthropisation et étant une création artificielle) mais dans le sens restreint des espaces associés aux lieux construits (habitations, infrastructures industrielles, commerciales, de transport) et aux espaces associés, tant que ceux-ci ne sont pas déjà comptabilisés dans une autre catégorie. Cette catégorie peut donc inclure des terres enherbées ou boisées si leur utilisation principale n'est ni agricole ni forestière, c'est le cas des jardins, des parcs ou des terrains de sport.

Pour le calcul des flux de carbone, on distingue dans l'inventaire français d'une part les espaces artificiels principalement bâtis et/ou revêtus, et d'autre part les espaces artificiels principalement végétalisés. Des classes d'occupation du sol plus précises permettent de distinguer un gradient de présence de végétation, permettant d'affiner l'estimation des stocks de carbone dans la biomasse et le sol.

**Tableau 224 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Etablissements**

| Niveau 1 (usage général) | | | Niveau 2 (usage précis) | | | Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | | Artificiel | 30 | | Artificiel à définir | 300 | Artificiel indéfini |
| | | | 31 | | Artificiel principalement bâti/revêtu | 310 | Artificiel principalement bâti/revêtu indéfini |
| | | | | | | 31ba | Espaces entièrement artificiels (bâtis, nus ou revêtus) |
| | | | | | | 31bn | Espaces en partie artificiels bâtis, nus ou revêtus - |
| | | | 32 | | Artificiel principalement végétalisé | 320 | Artificiel principalement végétalisé indéfini |
| | | | | | | 32vh | Espaces végétalisés artificiels - herbe et buissonnant |
| | | | | | | 32va | Espaces végétalisés artificiels - arborés |

*Définition des « zones artificialisées restant zones artificialisées » et « terres devenant zones artificialisées »*

## 6.2.6 Autres terres

*Définition des Autres terres*

En principe, la catégorie « Autres Terres » du Giec permet de rassembler toute autre terre qui n'est pas comptabilisées dans les 5 autres catégories précédentes (Forêt, Cultures, Prairies, Zones humides, Zones artificielles), quelle que soit son occupation du sol précise. Dans les faits, les terres concernées sont des surfaces avec un stock de carbone dans la biomasse et dans le sol nul ou faible : sols nus, sables, rochers, glaciers…

**Tableau 225 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Autres Terres**

| Niveau 1 (usage général) | | | Niveau 2 (usage précis) | | | Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | | Autres | 40 | | Autres à définir | 400 | Autres indéfini |
| | | | 42 | | Sols nus, et minéraux | 420 | Sols nus, minéraux indéfinis |
| | | | | | | 42sn | Sols nus, sables, rochers |
| | | | | | | 42gl | Glaciers et neiges |

*Définition de « autre terres restant autres terres » et « terres devenant autres terres »*

## 6.2.7 Produits bois ou « produit ligneux récoltés (PLR) »

## 6.2.8 Autres

Cette section traite spécifiquement des émissions du barrage de Petit-Saut, seul barrage pris en compte dans l'inventaire français du fait de ses spécificités :

- Une surface importante de 30 000 ha,
- Un climat tropical,
- Une mise en eau sans déforestation préalable.

# 6.3 Description des méthodes et données utilisées

## 6.3.1 Méthodes génériques

**Vue d'ensemble de la méthodologie**

La méthode utilisée pour estimer les émissions et absorptions de GES du secteur UTCATF se base sur les lignes directrices du Giec (2006, 2019). Les méthodes de calculs et les données utilisées sont différentes entre la France métropolitaine, les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE et les autres territoires d'Outre-mer, mais les principes méthodologiques de base restent les mêmes. On peut résumer la méthode de calcul de ce secteur en quatre grands volets : l'estimation des surfaces d'utilisation des terres et de changement d'utilisation des terres ; l'estimation des flux de carbone liés aux changements d'utilisation des terres ; l'estimation des flux de carbone sur les terres sans changement d'utilisation, liés à la gestion de la biomasse et des sols ; et les autres flux, y compris les flux des autres GES que le $CO_2$.

Pour la France métropolitaine, le suivi des surfaces d'utilisation des terres est réalisé selon une approche spatialement explicite (dite approche 3). Un modèle multi source, basé sur un maillage régulier du territoire (grille de 50m sur 50m) vient intégrer des données cartographiques d'occupation des sols et d'utilisation des terres pour reconstituer une série temporelle cohérente d'évolution annuelle

de l'utilisation des terres. Un modèle d'estimation de la variation des stocks de carbone par maille et par année permet d'estimer les gains et pertes de carbone pour chaque compartiment, reflétant les effets des changements d'utilisation ou les changements de gestion. Des données sur la variation de la biomasse forestière, issues d'observations fines du terrain par l'IGN, sont intégrées afin d'estimer, en forêt, la croissance, mortalité et les récoltes. Ces estimations sont complétées par l'estimation d'autres sources (feux de forêt, produits ligneux récoltés, drainage des sols organiques, etc.)

Pour les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE, le suivi des surfaces d'utilisation des terres est réalisé selon une approche statistique (dite approche 2). Les flux de carbone liés aux changements d'utilisation des terres sont estimés par variation de stock. Pour les terres sans changement, une hypothèse de neutralité est généralement appliquée (sauf, par exemple, pour les flux liés à l'exploitation forestière en Guyane).

Pour les territoires d'Outre-mer hors UE, le suivi des surfaces d'utilisation des terres est réalisé selon une approche statistique (dite approche 2) ou bien une approche par défaut sans estimation des changements (approche 1). Sur ces territoires, les estimations se limitent généralement aux flux liés aux changements d'usages des terres et aux feux de forêt.

**Méthode pour le suivi des surfaces d'utilisation des terres**

***Suivi des terres : généralités***

*Territoire géré et non géré*

Dans le cadre du secteur UTCATF, actuellement, tout le territoire est considéré géré (*managed land*), en France métropolitaine et en outre-mer inclus dans l'UE. Cette considération répond à la définition du Giec : « les terres gérées sont les terres subissant interventions et pratiques humaines à des fins productives, écologiques ou sociales » (Giec 2006, vol 4 ; 3.2). Certaines zones sont peu habitées, elles demeurent gérées à des fins écologiques notamment, sous les régimes des parcs nationaux (exemple : Parc Amazonien de Guyane ; Parc National de la Vanoise…). A noter cependant qu'une partie des autres territoires d'Outre-mer (hors UE), en particulier au sein des Terres Australes et Antarctiques Françaises, est considérée non-gérée.

*Approche pour la représentation des terres*

Pour la France métropolitaine, la France applique une **approche 3**, spatialement explicite, pour la représentation des terres et le suivi des surfaces d'utilisation des terres et de changement d'utilisation des terres, telle que définie par le Giec (2006, vol.4, chap.2). Plusieurs données cartographiques sont mobilisées au sein d'un modèle d'intégration, sur la base d'un maillage régulier du territoire.

Pour l'Outre-mer, l'approche dépend des territoires. Pour les territoires d'outre-mer inclus dans l'UE une **approche 3**, spatialement explicite (avec une résolution moindre qu'en métropole), est aussi utilisée avec des points d'échantillonnages permanents sauf pour Mayotte pour laquelle ces données n'existent pas et qui correspond plutôt à une **approche 2**. Pour les territoires d'outre-mer hors UE, une approche 1 est appliquée.

*Critères de transparence, exactitude, exhaustivité, comparabilité, cohérence (TACCC)*

L'approche multi-source et spatialement explicite respecte les principes de transparence, exactitude, exhaustivité, comparabilité, cohérence définis par la CCNUCC :

- **Transparence** : la méthodologie est décrite dans ce document (voir Annexe pour une description détaillée). Les données géographiques sont consultables lors d'une revue, et un outil de visualisation cartographique permet de repérer l'historique de l'usage de chaque maille du modèle. Par ailleurs, l'intégralité des matrices 1 an et 20 ans utilisées dans l'inventaire est disponible par région et par année dans le fichier LULUCF_background.xlsx
- **Exactitude** : cette approche vise à s'approcher le plus possible de la réalité, en se basant sur des cartographies les plus pertinentes et précises possibles, et détectant des changements d'usage avérés, en évitant la détection d'artefacts.
- **Exhaustivité** : l'ensemble du territoire métropolitain est couvert par la méthodologie, et toutes les catégories d'usage des terres sont considérées.
- **Comparabilité** : Les résultats finaux sont disponibles avec un détail fin par compartiment carbone, région, catégorie d'usage, permettant une comparabilité avec d'autres estimations. Les résultats intermédiaires cartographiques facilitent encore plus cette comparabilité.
- **Cohérence** :
    - cohérence spatiale : l'approche utilisée est cohérente sur l'ensemble du territoire métropolitain. En revanche, faute de jeux de données homogènes pour les territoires d'Outre-mer, ces derniers sont estimés avec des approches et données sources différentes, mais en respectant les mêmes principes.

- cohérence temporelle : une attention particulière est portée à la cohérence temporelle des résultats, malgré des données sources ne couvrant pas la totalité de la période de calcul.

*Unité minimale de suivi*

Pour la métropole, l'approche spatialement explicite pour le suivi des terres permet un suivi dans le temps d'une unité minimale de 0,25ha, correspondant à la surface d'une maille de la grille utilisée. Les calculs des flux de carbone sont effectués, en partie à l'échelle de la maille, en partie à échelle régionale (22 anciennes régions administratives).

Pour l'Outre-mer, le suivi des surfaces d'utilisation des terres et le calcul des flux de carbone se fait à l'échelle de chaque territoire (6 territoires d'Outre-Mer inclus dans l'UE et 7 territoires d'Outre-mer non inclus dans l'UE).

*Vue d'ensemble*

**Tableau 226 : Sources d'information utilisées pour le suivi des terres en fonction du territoire**

| Périmètre | Territoire | Superficie (ha) | Approche | Données source |
|---|---|---|---|---|
| Métropole | France métropolitaine | 54 920 010 | 3 | Combinaisons de plusieurs données cartographiques (voir ci-après). |
| Outre-mer inclus dans l'UE | Guyane | 8 553 400 | 3 | ONF-IGN [327, 382, 673] |
| | Guadeloupe | 162 800 | 3 | ONF-IGN [383] |
| | Martinique | 112 800 | 3 | ONF-IGN [384] |
| | Réunion | 250 400 | 3 | ONF-IGN [385] |
| | Mayotte | 37 400 | 2 | RGA [389], SDGAGE [390], FRA [391] |
| | Saint-Martin | 5 320 | 3 | ESA CCI-LC [1054] |
| Autres territoires d'Outre-mer | St Barthélémy | 2 400 | 3 | ONF-IGN [383] |
| | Saint-Pierre-et-Miquelon | 24 200 | 1 | ONFi [976] et [977] |
| | Wallis et Futuna | 12 420 | 1 | STARP [979] et ONFi [976] |
| | Polynésie française | 416 700 | 1 | ONFi [976] |
| | Nouvelle-Calédonie | 1 857 550 | 1 | ONFi [976] |
| | TAAF* (dont Terre-Adélie) | 43 967 200 | 1 | Hypothèses |
| | Île de Clipperton | 1 700 | 1 | Hypothèses |

*TAAF : Terres australes et antarctiques françaises.

***Suivi des terres en France métropolitaine***

Pour la France métropolitaine une approche spatialement explicite est appliquée. Plusieurs données cartographiques sont mobilisées et intégrées dans un modèle et une grille régulière pour reconstituer l'historique de l'utilisation des terres, pour chaque année, et chaque maille.

*Un résumé de la méthode est présenté ci-dessous.*

*Principe général*

Le schéma ci-dessous présente les grandes étapes.

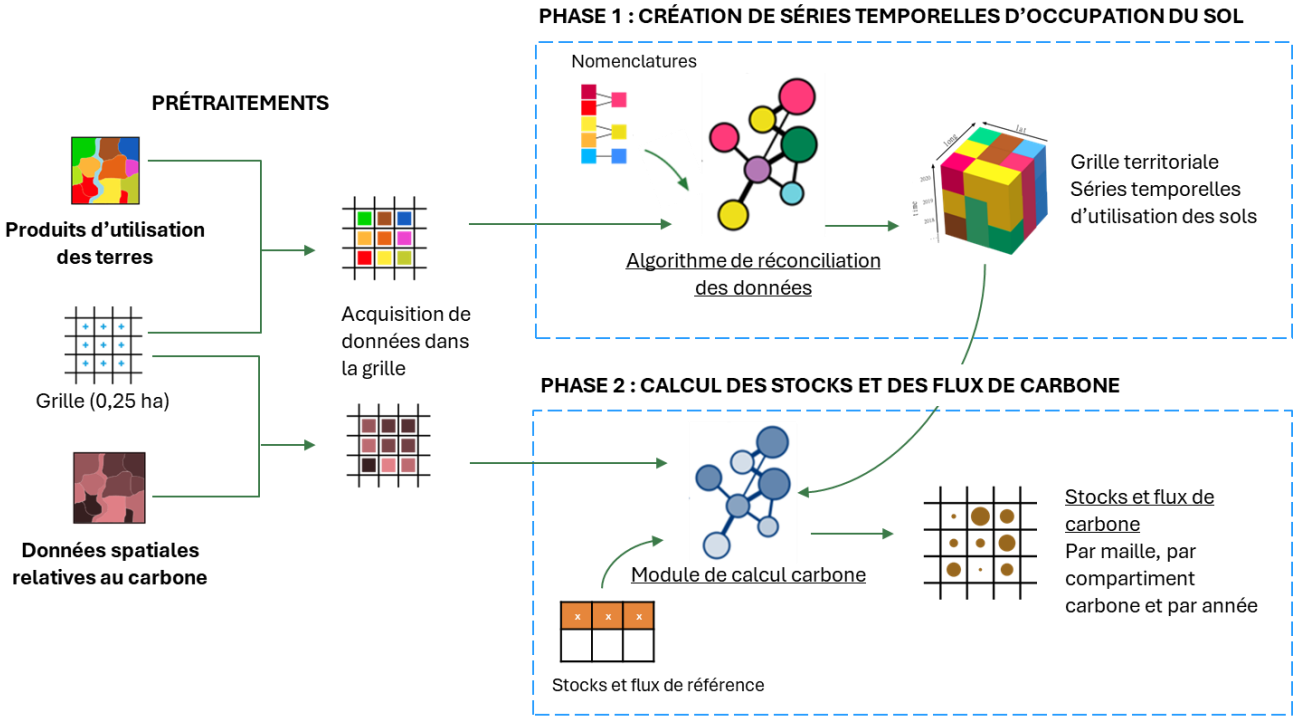



**Figure 178: Principe général du suivi des terres et du modèle de calcul carbone associé (modèle de variation de stock à la maille)**

Une grille régulière, couvrant tout le territoire, a été créée. Elle est composée de mailles de 50m de côté. Les données cartographiques sur l'utilisation des terres et les changements d'utilisation des terres ont été intersectées avec les centroïdes de ces mailles. Les classes d'utilisation des terres issues des nomenclatures d'origine de chaque donnée sont mis en correspondance avec une nomenclature de catégories d'utilisation des terres adaptée aux besoins de l'inventaire. Un algorithme sélectionne, parmi les données sources disponibles pour chaque centroïde, les données les plus fiables pour fixer la catégorie d'utilisation des terres d'une année récente, et les éventuels changements d'utilisation sur différentes périodes, en conservant la cohérence temporelle. Cette première estimation des changements d'utilisation, basée sur les produits renseignant spécifiquement des polygones de changements, sous-estime certaines dynamiques. Des modules supplémentaires du modèle viennent compléter ces surfaces de changements, à l'aide de données spécifiques, pour trois dynamiques : les boisements et déboisements, l'artificialisation, et les rotations culturales des terres agricoles. Enfin, ces estimations de surfaces annuelles sont extrapolées et complétées pour produire des matrices d'utilisation des terres complètes, cohérentes et répondant aux besoins de rapportage.

*Grille*

Une grille régulière a été créée sous SIG pour couvrir le territoire de la France métropolitaine dans son ensemble (Corse et autres îles incluses). Cette grille a été construite sur la base de la grille européenne de référence de l'EEA. A partir de ce référentiel de mailles de 1 km × 1 km, un maillage densifié de 50 m × 50 m a été construit, en décalant horizontalement et verticalement la grille de 25 m pour que les centroïdes des mailles de 50 m coïncident avec les intersections des mailles EEA.

La grille est constituée de mailles régulières carrées de 50 m de côté, soit d'une surface de 0,25 ha chacune. Cette surface a été choisie pour deux raisons principales. La première est qu'elle est compatible avec le seuil de surface minimale de définition officielle de la forêt en France (0,5 ha). La seconde est qu'elle correspond généralement à l'échelle spatiale des grands ensembles d'utilisation du sol (aires urbaines et lotissements, parcelles agricoles, surfaces boisées), et est raisonnable compte tenu de la résolution spatiale des produits cartographiques disponibles et des contraintes de calcul.

Le point central de chaque maille, ou « centroïde », sert de base à l'ensemble des opérations d'intersection entre les données cartographique et la grille. Dans les cas où une maille se trouve à cheval entre plusieurs polygones d'utilisation des terres pour une donnée source, cela permet de ne récupérer qu'une seule information par maille, et de privilégier la représentativité statistique des centroïdes plutôt que de favoriser les surfaces majoritaires au sein de chaque maille. Toutes les catégories, mêmes celles représentées par des petits polygones, ont la même chance d'être retenues.

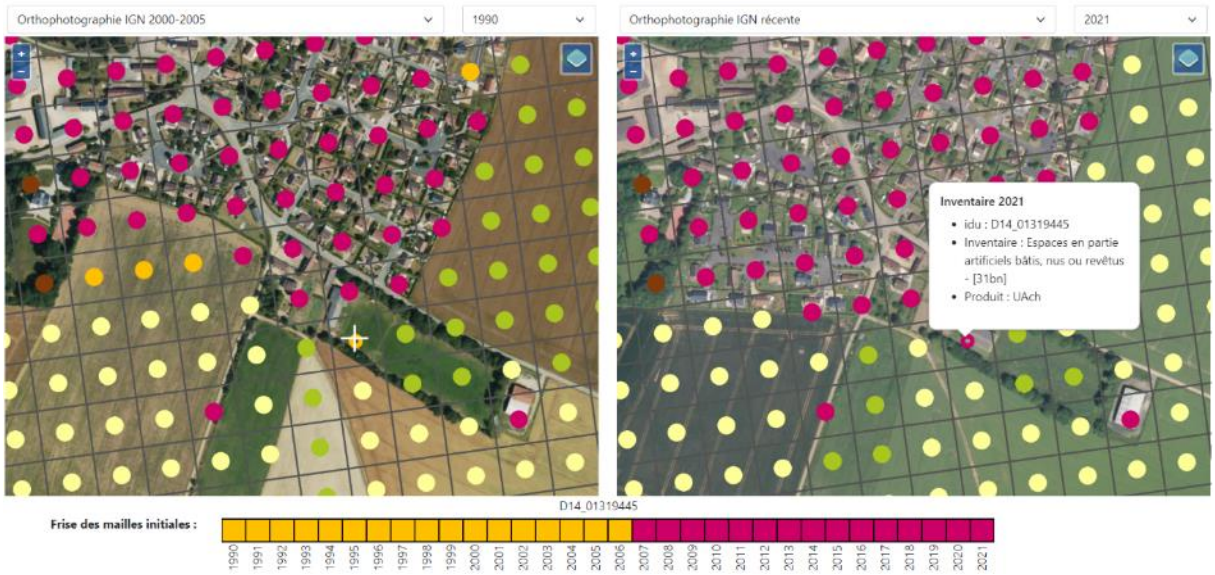



**Figure 179 : Aperçu de la grille (mailles de 50 m*50 m soit 0,25 ha)**

*Chaque maille est identifiable grâce à un identifiant unique et conserve l'information de la catégorie d'usage du sol pour chaque année (voir frise chronologique sous la figure ci-dessus), ainsi que le produit qui a été retenu pour en définir l'usage.*

*Données et prétraitement*

Les données cartographiques suivantes ont été sélectionnées pour être intégrées au modèle de reconstitution de l'historique de l'utilisation des terres et des changements d'utilisation des terres. Ces données ont été sélectionnées parmi un ensemble de données disponibles avec les critères suivants :

- les données doivent être de type vectorielles (type « *wall-to-wall* ») ou raster (les données statistiques comme LUCAS ou TerUti ont donc été écartées);
- les données peuvent couvrir toutes les catégories d'usage ou non ;
- les données doivent couvrir tout le territoire afin d'avoir une approche comparable entre régions (les données régionales ont été écartées) ;
- les données couvrant plusieurs années et détectant de manière pertinente les changements d'usage sont privilégiés (les données produites avec une approche plus automatisée comme par exemple les *High Resolution Layers* ou OSO sont, pour le moment, écartées)

**Tableau 227 : Caractéristiques des différents produits cartographiques utilisés pour le modèle multisource (métropole)**

| Nom | Producteur | Millésimes | Site Web |
|---|---|---|---|
| Urban Atlas (changements) (UAch) | EEA/Copernicus | 2012-2018, 2006-2012 * | https://land.copernicus.eu/paneuropean/corine-land-cover/ |
| Urban Atlas (UA) | | 2018, 2012 | |
| Corine Land Cover (CLCch) (changements) | | 2012-2018, 2006-2012, 2000-2006, 1990-2000 | |
| Natura 2000 (changements) (N2Kch) | | 2012-2018, 2006-2012 * | |
| Natura 2000 (N2K) | | 2018, 2012 | |
| Base de données forêt (BDF) | IGN | * | https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdforet |
| Registre parcellaire graphique (RPG) | | 2010 à 2022 | https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/rpg |

| | | | |
|---|---|---|---|
| BDcarto | | 2018 | https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdcarto |
| BDtopo<br>(couche bâti et transport) | | 2021 | https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdtopo |
| BDtopage | IGN-OFB | 2022 | https://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/metadata/82752235-2ddf-4b62-a82f-6ea276671f18 |

**variable selon les régions*

Ces données cartographiques ont été intersectées avec les centroïdes de ces mailles, avec leur classe initiale, dans leur système.

*Catégories/nomenclature*

Les classes d'utilisation des terres issues des nomenclatures d'origine de chaque donnée sont mises en correspondance avec une nomenclature commune de catégories d'utilisation des terres adaptée aux besoins de l'inventaire. Une nomenclature détaillée en plusieurs niveaux a ainsi été construite de manière à faciliter les calculs des flux de carbone en tirant parti de la précision disponible dans les données sources, et à être compatible avec les catégories finales définies par les lignes directrices du Giec (2006). A noter que ces données ont pour la plupart une approche « occupation du sol » ou une approche mixte « occupation du sol - usage du sol ».

**Tableau 228 : Nomenclature détaillée utilisée dans l'inventaire UTCATF de la France (métropole)**

| Niveau 1 (usage général) | | | Niveau 2 (usage précis) | | | Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul | | Correspondance catégorie Giec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Agricole | 10 | | Agricole à définir | 100 | Agricole indéfini | Terres cultivées |
| | | | 11 | | Cultures annuelles, légumes et fleurs | 110 | Cultures annuelles, légumes et fleurs indéfinies | |
| | | | | | | 11bh | Blé tendre d'hiver | |
| | | | | | | 11bp | Blé tendre de printemps | |
| | | | | | | 11dh | Blé dur d'hiver | |
| | | | | | | 11dp | Blé dur de printemps | |
| | | | | | | 11cz | Colza | |
| | | | | | | 11ah | Avoine d'hiver | |
| | | | | | | 11ap | Avoine de printemps | |
| | | | | | | 11lf | Légumes ou fleurs | |
| | | | | | | 11be | Betterave industrielle | |
| | | | | | | 11cf | Choux, racines et tubercules fourragers | |
| | | | | | | 11ci | Autres cultures industrielles | |
| | | | | | | 11ls | Légumes secs | |
| | | | | | | 11mf | Maïs fourrage | |
| | | | | | | 11mg | Maïs grain | |
| | | | | | | 11oh | Orge d'hiver | |
| | | | | | | 11op | Orge de printemps | |
| | | | | | | 11xc | Autres céréales | |
| | | | | | | 11pf | Plantes à fibres | |
| | | | | | | 11pg | Pois protéagineux | |
| | | | | | | 11pm | Pomme de terre | |
| | | | | | | 11sh | Seigle d'hiver | |
| | | | | | | 11so | Sorgho | |
| | | | | | | 11sp | Seigle de printemps | |
| | | | | | | 11th | Triticale d'hiver | |
| | | | | | | 11to | Tournesol | |
| | | | | | | 11tp | Triticale de printemps | |
| | | | | | | 11xf | Autres fourrages annuels | |
| | | | | | | 11xo | Autres oléagineux | |
| | | | | | | 11xp | Autres protéagineux | |
| | | | 12 | | Cultures permanentes | 120 | Cultures permanentes indéfinies | |
| | | | | | | 12vi | Vignes | |
| | | | | | | 12ol | Oliveraies | |
| | | | | | | 12cq | Fruits à coque | |

| Niveau 1 (usage général) | | | Niveau 2 (usage précis) | | | Niveau 3 (occupation) - utile pour le calcul | | Correspondance catégorie Giec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 12af | Autres arbres fruitiers | |
| | | | | | | 12cp | Autres cultures permanentes | |
| | | | 13 | | Prairies temporelles et jachères | 130 | Prairies temporaires et jachères indéfinies | |
| | | | | | | 13pa | Prairies artificielles | |
| | | | | | | 13pt | Prairies temporaires | |
| | | | | | | 13jh | Jachères | |
| | | | 14 | | Prairies permanentes | 14pp | Prairies permanentes | Prairies |
| 2 | | Végétation naturelle et semi-naturelle | 20 | | Végétation naturelle et semi-naturelle à définir | 200 | Végétation naturelle et semi-naturelle indéfinie | Terres forestières |
| | | | 21 | | Forêt | 210 | Forêt indéfinie | |
| | | | | | | 21ff | Forêt feuillus | |
| | | | | | | 21fc | Forêt conifères | |
| | | | | | | 21fm | Forêt mixte | |
| | | | | | | 21fp | Peupleraies | |
| | | | | | | 21mg | Mangroves | |
| | | | 22 | | Végétation naturelle hors forêt | 220 | Végétation naturelle hors forêt indéfinie | Prairies |
| | | | | | | 22bq | Bosquet | |
| | | | | | | 22la | Landes, clairières, broussailles | |
| | | | | | | 22mq | Maquis, garrigues | |
| | | | | | | 22pe | Alpages, pelouses naturelles | |
| 3 | | Artificiel | 30 | | Artificiel à définir | 300 | Artificiel indéfini | Zones artificialisées |
| | | | 31 | | Artificiel principalement bâti/revêtu | 310 | Artificiel principalement bâti/revêtu indéfini | |
| | | | | | | 31ba | Espaces entièrement artificiels (bâtis, nus ou revêtus) | |
| | | | | | | 31bn | Espaces en partie artificiels bâtis, nus ou revêtus - | |
| | | | 32 | | Artificiel principalement végétalisé | 320 | Artificiel principalement végétalisé indéfini | |
| | | | | | | 32vh | Espaces végétalisés artificiels - herbe et buissonnant | |
| | | | | | | 32va | Espaces végétalisés artificiels - arborés | |
| 4 | | Autres | 40 | | Autres à définir | 400 | Autres indéfini | Autres terres |
| | | | 41 | | Zones humides et en eau | 410 | Zones humides et en eau indéfinies | Terres humides |
| | | | | | | 41ea | Zone en eau naturelle (mer, océan, lac, rivière...) | |
| | | | | | | 41in | Zone inondée (artificiellement) - bassins, aquaculture, étang de pisciculture, zones de stockage de l'eau | |
| | | | | | | 41tb | Tourbières | |
| | | | | | | 41ms | Marais salants | |
| | | | | | | 41zh | Autres zones humides (roselières...) | |
| | | | 42 | | Sols nus, et minéraux | 420 | Sols nus, minéraux indéfinis | Autres terres |
| | | | | | | 42sn | Sols nus, sables, rochers | |
| | | | | | | 42gl | Glaciers et neiges | |

*Modèle d'intégration – module général*

Le **module général** se base sur les données cartographiques (UA, N2K, CLC, RPG, BD Forêt, BD Carto...) et visent à identifier, pour chaque centroïde (centre d'une maille), l'usage de référence ; qui sera soit statique (même usage retenu pour toute la série temporelle) soit dynamique (si l'usage de référence provient d'un produit de changement, les changements sont appliqués). En cas de multiples changements détectés par plusieurs produits de changements ; des tests de cohérence temporelle sont appliqués. Cette première estimation des changements d'utilisation, basée sur les produits renseignant spécifiquement des polygones de changements, sous-estime certaines dynamiques.

Le concept général du protocole est d'intégrer, au sein d'un maillage des données hétérogènes d'utilisation des terres. L'objectif est de reconstituer de manière cohérente une série temporelle de l'évolution des terres, tout en évitant au maximum de présenter des faux changements, ou faux positifs, et en essayant autant que possible de limiter les faux négatifs, c'est-à-dire les conversions manquées. Cela est possible grâce à l'utilisation de produits cartographiques de changements. Les produits cartographiques de

changements communiquent directement une information spatialisée sur un changement pour une période donnée (un polygone, avec un usage de départ et un usage d'arrivée). Leur utilisation limite le risque d'intégrer de faux changements.

Le module général vise à identifier pour chaque centroïde un usage de référence à partir de l'ensemble des données disponibles pour ce point. L'usage de référence est alors soit étendu à toute la période temporelle (centroïde statique, cas n°2 de la figure ci-dessous) soit modifié par des signaux indiqués par les produits de changement (cas n°1). Si de multiples changements sont détectés, des tests de cohérence temporelle sont appliqués.

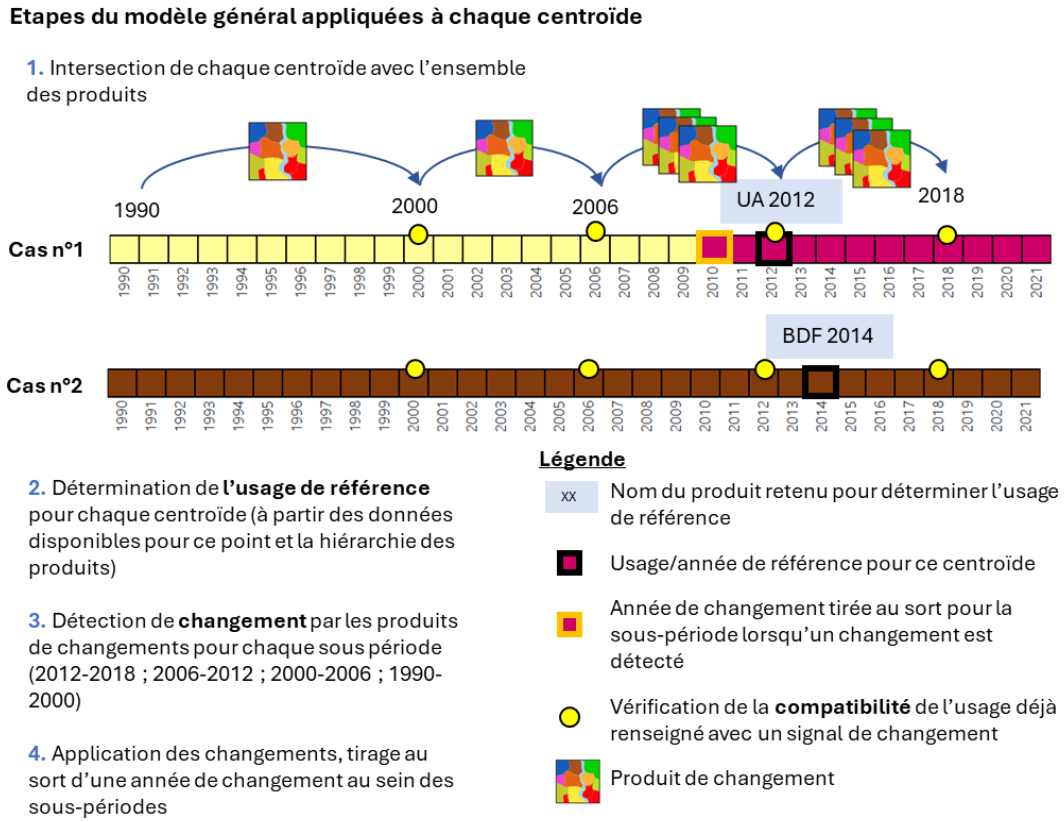



**Figure 180: Schéma récapitulatif du protocole de création d'une série temporelle d'utilisation des terres (module général)**

*Etape initiale : Choix de l'usage de référence parmi différents produits*

Le protocole agrège différents produits jugés pertinents pour déterminer l'usage de référence (BDF, RPG, UA, N2K, BDcarto). L'objectif est d'utiliser le produit thématique le plus efficace pour chaque situation (l'usage de référence est donné par le RPG quand l'usage est agricole, par la BD forêt quand l'usage est forestier, etc.). Comme tous ces produits ne donnent pas d'information pour la même année, les centroïdes peuvent avoir des années de référence différentes au sein du territoire (un centroïde peut avoir pour référence le RPG de 2016, et un autre la BDF de 2015). Pour attribuer l'usage de référence, une hiérarchie des produits a été établie afin de choisir l'usage jugé le plus fiable pour chaque centroïde. La hiérarchie ordonne les produits par ordre de préférence, sachant que pour chaque produit si plusieurs années sont disponibles l'année la plus récente est préférée.

| Hiérarchie des produits utilisée : UAch* > N2Kch* > CLCch* > BDF > RPG > UA > N2K > BDcarto |
|---|

**lorsqu'ils donnent un signal de changement*

Les produits de changements sont placés en priorité dans la hiérarchie pour limiter les incompatibilités entre usage de référence et usages finaux et initiaux des signaux de changements.

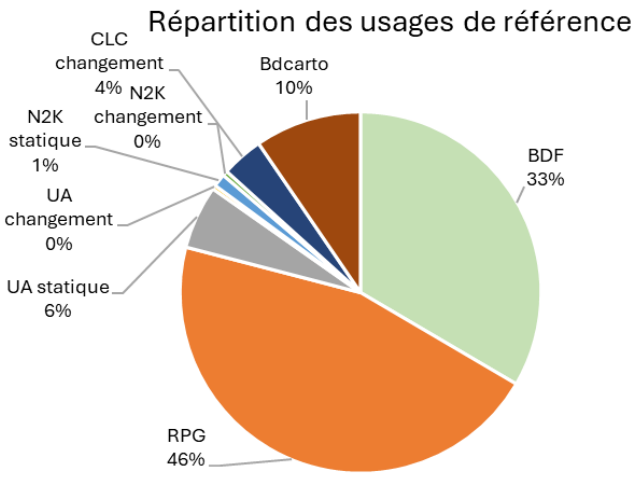



**Figure 181 : Part des produits utilisés pour déterminer l'usage de référence des centroïdes après intersection et application de la hiérarchie des produits**

Le protocole se base également sur un système de vérification de la compatibilité des occupations du sol, afin de maximiser la cohérence et la vraisemblance des séries temporelles construites par l'outil. Lorsqu'un produit de changement donne un signal pour un centroïde en 2006-2012 (c'est-à-dire quand un centroïde intersecte un polygone de changement pour la période), le changement est appliqué s'il est compatible avec l'usage déjà renseigné en 2012. Cela signifie que l'utilisation finale donnée par le polygone de changement doit être dans la même catégorie GIEC que l'usage déjà renseigné. Lorsque le changement est jugé compatible, l'usage de 2006 est alors rempli dans la série temporelle avec l'usage d'origine du polygone de changement. Puis, une année de changement est choisie au hasard entre 2006 et 2012, et les années intermédiaires sont remplies en conséquence. Le même processus est répété pour chaque période de changement. Avec cette méthodologie, seules les zones avec une probabilité forte d'avoir subi un changement d'usage réel sont comptabilisées en tant que changement.

Il arrive que plusieurs produits de changement donnent simultanément un signal, alors un arbre de décision est créé pour adopter ou non les changements et choisir lequel appliquer, suivant une hiérarchie générale des produits de changement (Urban atlas prévaut sur Natura2000 qui prévaut sur Corine Land Cover). Ces différentes hiérarchies ont été construites à partir de l'étude des résolutions spatiales et thématiques des différents produits. Le produit Urban Atlas étant en haut de la hiérarchie, s'il est disponible et qu'il détecte un changement, celui-ci sera directement appliqué. Pour les autres cas, des règles additionnelles ont été créées. Si Urban Atlas est disponible, mais ne détecte pas de changement, il a été décidé, plutôt que de classer directement le centroïde dans la catégorie « aucun changement », d'appliquer les changements de Natura 2000 s'il est disponible, ou en dernier recours ceux de Corine Land Cover. En effet, si Urban Atlas est très performant pour détecter les changements d'usage des terres concernant la catégorie terres artificialisées, il pourrait omettre des changements concernant d'autres catégories, couvertes par les autres produits. Après avoir vérifié que le potentiel changement N2K ou CLC ne concernait pas la catégorie Terres artificialisées, il peut donc être pris en compte. En revanche, si Urban Atlas n'est pas disponible, cette règle ne tient plus et on s'autorise l'utilisation de N2K ou CLC pour détecter des flux d'artificialisation. Seule une vérification de compatibilité est réalisée.

Cette première estimation des changements d'utilisation, basée sur les produits renseignant spécifiquement des polygones de changements, sous-estime certaines dynamiques. Des modules complémentaires ont été ajoutés.

*Modèle d'intégration – modules d'ajout de dynamiques*

Des modules supplémentaires du modèle viennent compléter ces surfaces de changements, à l'aide de données spécifiques, pour trois dynamiques : les boisements et déboisements, l'artificialisation, et l'évolution des terres agricoles.

*Articulation des modules*

1. Le **modèle général** renseigne un usage de référence pour tous les centroïdes, puis propose des changements d'usage pour certains centroïdes couverts par les produits de changement européens Copernicus.
2. Le module basé sur la **BDtopage** permet de requalifier des centroïdes en zones en eau, pour toute leur série temporelle ou en créant une dynamique de changement d'usage, seulement si le modèle général ne détecte pas de changement.
3. Le module **forêt** propose de nouveaux changements forestiers parmi les centroïdes stables dans le module général.
4. Le module **artificialisation** propose de nouveaux changements artificialisation parmi les centroïdes stables dans le module général, et dont les usages de référence ne sont pas renseignés par la BDF ou le RPG. Il requalifie également des mailles sur toute la série temporelle.

5. Le module **rotation agricole** propose pour tous les centroïdes dont l'usage est au moins une fois agricole une requalification des usages agricoles pour ajouter des rotations.

*Boisement et déboisement*

Un **module sur les boisements et déboisements** a été développé en complément au module général. Il part du constat que les résultats issus du module général donnaient des taux de boisement et déboisement, et notamment un taux de boisement net, inférieurs aux niveaux attendus lorsqu'on considère les résultats de TerUti (ancienne méthode statistique [1024]), mais aussi de l'IGN. Ce module se base sur la comparaison des deux éditions de la BD Forêt (voir plus bas).
Le code du module boisements-déboisements fonctionne de la manière suivante :

- Ce module compare les polygones forestiers des 2 éditions de la BDF disponibles pour chaque département, et produit des signaux de potentiels boisements (lorsqu'une zone est boisée dans la V2 et non boisée dans la V1) et de potentiels déboisements (lorsqu'une zone est non boisée dans la V2 et boisée dans la V1).
- Il s'accompagne ensuite d'une série de traitement pour filtrer ces signaux potentiels et conserver les plus vraisemblables, car une partie de ces signaux ne reflètent pas de véritables changements dans le paysage mais plutôt les différences de qualité entre V1 et V2. Pour les boisements, un premier traitement (a) est effectué pour empêcher la détection de faux boisements de faible surface qui sont dus à la différence de résolution spatiale entre les deux éditions. En effet, la BDFv2 détecte des plus petits polygones forestiers (inférieurs à 2,5 ha), qui ne doivent donc pas apparaître comme un réel boisement, car ils étaient certainement déjà existants mais non détectés par la version 1. Un autre traitement (b), corrige les effets de bords dus aux différences de tracés des polygones. Pour ce qui est des déboisements, les faux déboisements liés à la meilleure détection des chemins et routes au sein des zones forestières par la V2 sont corrigés, ainsi que des effets de bord comme décrits plus tôt.

*Artificialisation*

Un **module sur l'artificialisation** a été développé en complément au module général. Il part du constat, lui aussi, que les résultats issus du module général donnaient des taux d'artificialisation inférieurs à l'ancienne méthode et ceux de TerUti mais aussi à ceux d'autres données de référence tels que l'observatoire de l'artificialisation du Cerema (qui repart des fichiers fonciers). Ce module se base sur la cartographie des bâtiments et des infrastructures de transport et de leur date d'apparition dans la BD Topo de l'IGN (voir plus bas).

Le module artificialisation fonctionne de la manière suivante :

- A partir de la couche bâtiment de la BD topo de l'IGN, des aires urbaines (ou « tâches urbaines ») sont créées. Elles permettent de mieux détecter les petites zones construites qui n'étaient pas détectées par le modèle général, par exemple des zones rurales qui étaient principalement couvertes par la BD Carto. Des corrections sont alors effectuées dans les séries temporelles en remplaçant l'usage par un usage bâti. La création des aires urbaines s'effectue sur Postgis avec l'application de buffers (ou tampons spatiaux) autour des bâtiments puis d'érosion.
- De plus, à partir du champ « date d'apparition » de la couche bâtiment utilisée, les polygones reconstitués par le protocole se voient attribuer une date d'artificialisation potentielle. Cela permet d'affecter un usage dynamique à un centroïde, en lui appliquant avant cette date l'usage du modèle général s'il n'est pas artificiel (l'usage Corine Land Cover 1990 sinon), et d'appliquer un usage artificiel après cette date.

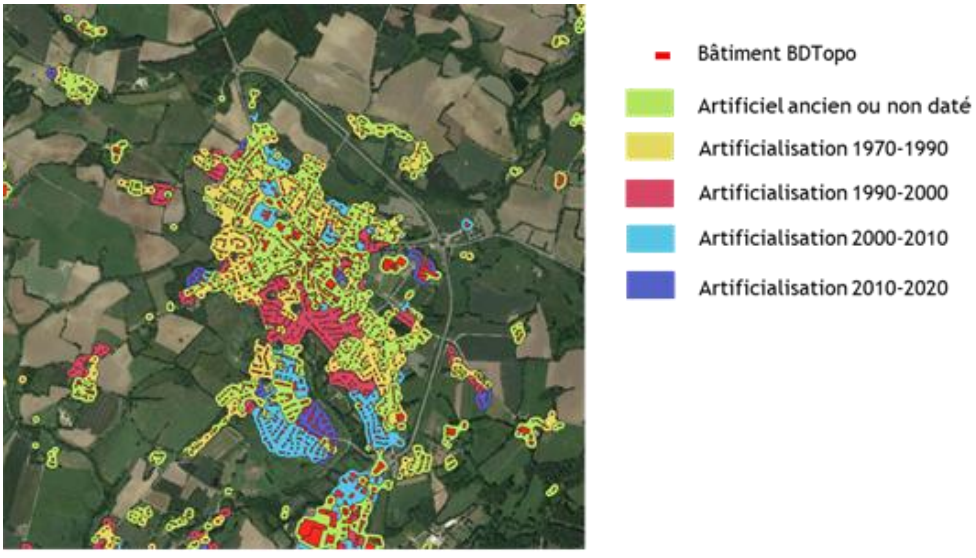



**Figure 182 : Exemple de zone urbaine créée par le module artificialisation, et divisée en polygones par date d'artificialisation**

Un process similaire est appliqué pour les infrastructures de transports. Les éléments linéaires de la BDtopo sont convertis en polygones avec l'utilisation de buffer dont la largeur dépend du type d'infrastructure. Puis, les centroïdes qui intersectent ces zones tampons sont reconvertis en usage artificiel sur toute leur série temporelle, ou à partir de leur date de construction.

*Zones humides*

Un module similaire au module artificialisation est créé pour requalifier des zones en eau ou zones humides non détectées par le modèle général, sur la base du produit BDtopage. Les centroïdes qui intersectent les polygones BDtopage supérieurs à 500 $m^2$, et qui sont indiqués en eau de façon permanente, sont reconvertis en usage zone humide sur toute leur série temporelle, ou à partir de leur date de construction.

Afin de corriger certains signaux interprétés comme des artefacts liés à la méthode de mise à jour du produit BDtopage et non à la réalité observée sur le terrain, certains traitements sont appliqués. Les changements antérieurs à 2008 notamment ne sont pas pris en compte car on ne peut distinguer les signaux de changement des mises à jour de la base de données. Pour les mêmes raisons, certains types de zones en eau ne sont pas conservés pour la détection des signaux de changements (« Écoulement naturel », « PE – glaciers, névés », « Plan d'eau – estuaire » ou « Plan d'eau – lagune »), ainsi que « Plan d'eau – Lac » en 2021.

*Dynamiques agricoles*

Un **module sur les terres agricoles** a été développé en complément au module général. Il se justifie par la difficulté à distinguer prairies (temporaires, permanentes) et cultures – difficulté rencontrée avec TerUti dans l'inventaire pré 2022, ainsi qu'avec l'approche spatialement explicite basée sur des données mêlant *utilisation* et *occupation* du sol. L'idée est d'abord de considérer les terres agricoles comme un grand ensemble, afin de venir en deuxième temps estimer les cycles culturaux et notamment les alternances, la présence plus ou moins temporaires des prairies, plutôt que de distinguer d'emblée cultures et prairies comme deux usages différents, et ainsi détecter de trop nombreuses surfaces variant de l'un à l'autre. Ce module se base sur les données du RPG.

Le module des terres agricoles fonctionne de la manière suivante :

- De 2015 à 2022, les usages RPG annuels sont réaffectés à chaque centroïde agricole quand ils sont disponibles. Pour rappel, avec le modèle général, lorsqu'aucun produit de changement ne donnait de signal et que le point était couvert par le RPG, l'usage RPG le plus récent détecté était conservé et appliqué sur toute la période. A présent, on réalloue les usages annuels de 2015 à 2022. Le RPG était disponible spatialement également pour les années 2010 à 2015 mais le produit n'étant pas exactement de même nature (nomenclature, etc.), il a été choisi de conserver les informations géographiques seulement pour ces années récentes.
- Pour les années plus anciennes, un travail statistique est réalisé pour proposer des usages historiques à chaque centroïde agricole, selon les rotations constatées à cette localisation entre 2015 et 2020, ainsi que sur la base des surfaces statistiques historiques (SAA) par type de culture. La calibration se fait par petite région agricole (PRA), afin de proposer des comportements cohérents pour les rotations.
- Les rotations sont modélisées à partir de chaînes de Markov, qui étudient les rotations 2015-2020 et proposent pour chaque PRA une probabilité de conversion d'un usage agricole à un autre (matrices de transition). Ces matrices sont calculées sous la contrainte des surfaces statistiques historique par type de culture.

**Tableau 229 : Exemple de matrice de transition pour la création de rotations agricoles**

| ; | Céréales et oléagineux | Protéagineux | Prairie temporaire | Culture industrielle | Prairie permanente | Maraîchage, fleurs | Cultures permanentes | Autres usages |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Céréales et oléagineux** | 85% | 2% | 5% | 2% | 3% | 1% | 0% | 2% |
| **Protéagineux** | 84% | 4% | 4% | 0% | 5% | 0% | 0% | 2% |
| **Prairie temporaire** | 3% | 0% | 96% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% |
| **Culture industrielle** | 84% | 0% | 2% | 9% | 0% | 3% | 0% | 1% |
| **Prairie permanente** | 15% | 0% | 9% | 0% | 74% | 0% | 0% | 1% |
| **Maraîchage, fleurs** | 24% | 0% | 2% | 4% | 0% | 66% | 1% | 3% |
| **Cultures permanentes** | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 98% | 1% |
| **Autres usages** | 5% | 0% | 4% | 0% | 0% | 0% | 1% | 90% |

*Par exemple, une parcelle en céréales et oléagineux a ici 85% de probabilité de conserver la même occupation et 5% de probabilité de devenir une prairie temporaire.*

*Outil de visualisation cartographique*

Un outil en ligne permet de visualiser, pour chaque maille et son centroïde, la catégorie d'usage retenue pour chaque année, et la donnée source ayant permis de faire ce choix. Il permet d'afficher côte à côte la même zone à deux dates différentes, ainsi que de faire des sélections de mailles par type de dynamique. Cet outil n'est pour l'instant pas diffusé.

L'information sur les usages et changements d'usage à la maille de 0,25 ha permet de cartographier facilement les dynamiques de conversion en les agrégeant à l'échelle souhaitée. Par exemple la carte ci-dessous met en évidence les zones artificialisées entre 1990 et 2020 par maille de 10*10 km.

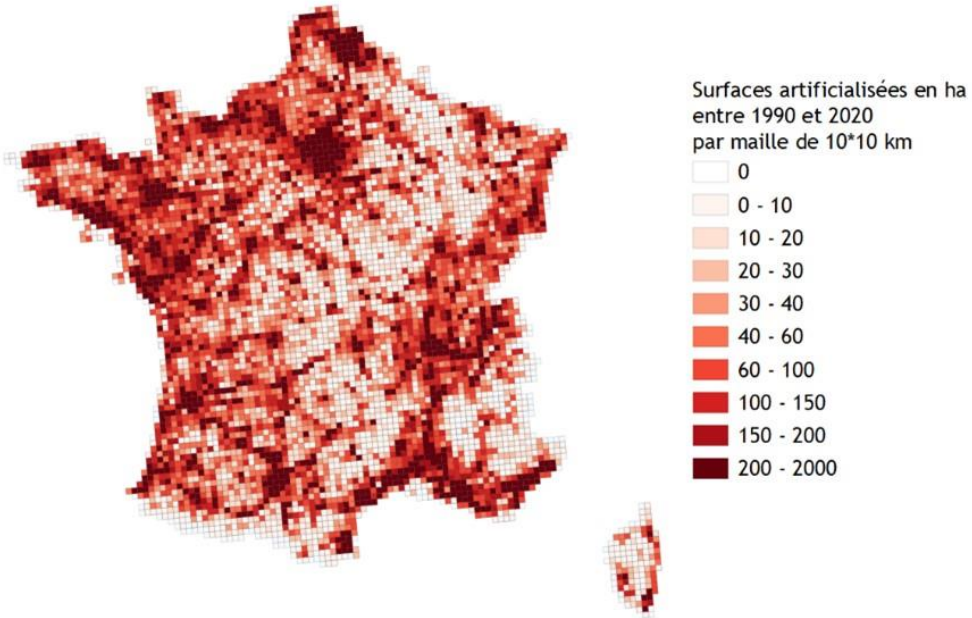



**Figure 183 : Identification des zones avec un fort taux d'artificialisation à partir du modèle de suivi des terres par maille**

*Extrapolation et construction des matrices*

Enfin, ces estimations de surfaces annuelles sont extrapolées et complétées pour produire des matrices d'utilisation des terres complètes, cohérentes et répondant aux besoins de rapportage. Pour extrapoler et compléter les surfaces de changement d'usage, le calcul prend en compte, pour chaque département, les années non couvertes par les données de changement utilisées dans les modules d'intégration de données d'usage des terres, de manière à reconstituer les surfaces de changement manquées. Les surfaces sans changement sont estimées en cohérence avec ces surfaces de changement extrapolées et complétées. Cette étape est réalisée à un niveau agrégé, non spatialement explicite, de manière à couvrir toute la série temporelle en remontant à 1990 et aux changements entre 1970 et 1990. En effet, pour les périodes passées, les données cartographiques sont insuffisantes et il est nécessaire de recourir à une approche statistique pour reconstituer une série historique cohérente et éviter les effets de marche liés à une prise en compte différenciée des changements selon la période couverte.

Les matrices 20 ans, nécessaires au rapportage, sont construites à partir de ces séries temporelles annuelles. L'intégralité des matrices 1 an et 20 ans utilisées dans l'inventaire est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_Background.xlsx

**Règles du Giec : « matrices »**

Deux types de matrices de changements sont nécessaires pour le calcul et le rapportage des émissions/absorptions du secteur UTCATF :

des matrices annuelles de changements pour évaluer les variations de surfaces mettant en jeu des phénomènes à cinétique rapide (déforestation),

des matrices couvrant une période de 20 ans pour les phénomènes dont la cinétique est plus lente (par ex : constitution des stocks de carbone du sol, des litières). Cette période de 20 ans correspond à la valeur par défaut du GIEC. Bien qu'elle ne soit pas idéalement adaptée aux cinétiques en milieu tempéré pour lesquelles la période serait plus proche de 50 ans, d'évidentes limites sur la disponibilité des données conduisent à retenir cette valeur.

Les années de 1970 à 1982 sont reportées ou interpolées sur la base des années les plus proches de manière avoir une série complète depuis 1970 jusqu'à l'année d'inventaire.

Les matrices nécessaires au calcul des émissions/absorptions du secteur UTCATF peuvent être élaborées en appliquant de manière itérative les taux annuels de changement d'utilisation à une année de référence (l'année 2007 a été choisie). Les matrices complètes de changement d'utilisation des terres sont ainsi conçues à partir des surfaces de l'année 2007 grâce aux équations suivantes illustrées par le schéma ci-après.

**Équation 1 (UTCATF)**

Avant 2007 : $A_{i,a} = A_{i,a+1} - \Sigma_j [A_Gains_{i,j,a}] + \Sigma_j [A_Pertes_{i,j,a}]$

Après 2007 : $A_{i,a} = A_{i,a-1} + \Sigma_j [A_Gains_{i,j,a}] - \Sigma_j [A_Pertes_{i,j,a}]$

Avec :

$A_{i,a}$ = Surfaces pour l'occupation i, à la fin de l'année a
$A_{i,a-1}$ = Surfaces pour l'occupation i, à la fin de l'année a-1
$A_{i,a+1}$ = Surfaces pour l'occupation i, à la fin de l'année a+1
$A_Gains_{i,j,a}$ = Surfaces gagnée par l'occupation i, au dépend de l'occupation j, durant l'année a
$A_Pertes_{i,j,a}$ = Surfaces perdues par l'occupation i, au profit de l'occupation j, durant l'année a

**Tableau 230 : Illustration du protocole d'estimation des surfaces à partir des surfaces de l'année 2007**

L'intégralité des matrices 1 an et 20 ans utilisées dans l'inventaire est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

***Suivi des terres en Outre-Mer (inclus dans l'UE)***

En Outre–mer, les systèmes de collecte de données diffèrent de la métropole : des travaux spécifiques sont donc réalisés pour chacun des territoires couverts. Le suivi des territoires d'Outre-mer périmètre UE est réalisé à partir de travaux de télédétection.

*Données*

*Guyane*

Des travaux spécifiquement menés pour les besoins de l'inventaire [327, 382, 673] sont utilisés comme données sources. Ils permettent de quantifier les changements d'utilisation des terres entre 1989 et 2008, en particulier les défrichements liés aux abattis (culture itinérante sur brûlis) et à l'orpaillage. Ces travaux se basent sur la classification de points d'échantillonnage par interprétation visuelle d'images satellitaires datées de 1989, 2008 et 2012, avec une stratification conforme aux recommandations du Giec. La nomenclature du Giec, en 6 catégories, est utilisée.

Le travail d'échantillonnage n'ayant pas été mis à jour après 2012, une nouvelle méthode est mise en place pour actualiser la donnée de déforestation sur la période récente. Cette-dernière se base sur un produit satellite (Vancutsem et al. 2021 [1201]). Ce produit fournit des informations uniquement pour les surfaces forestières, grâce au renseignement de l'évolution nette du couvert forestier par sous-périodes de 5 ans entre 2000 et 2020. L'analyse de ce produit permet de déduire des taux de déforestation annuels moyens pour les différentes sous-périodes. Le taux de boisement considéré est une extrapolation du taux historique, puis la valeur de déboisement du produit satellite est estimée en comparant la valeur d'évolution nette du couvert forestier avec cette donnée de boisements. Le taux de déboisement obtenu est recalé sur le taux historique des précédents travaux pour les années communes aux deux données (2010-2012). Le nouveau taux post 2012 est ensuite déduit.

**Méthode de construction des données d'occupation du sol de la Guyane avant 2012**

Ces études sont basées sur la photo-interprétation d'images LANDSAT et SPOT qui ont donc préalablement été acquises puis traitées (spatio-triangulation, orthorectification, dénuagement, mosaïquage). En raison de la petite taille des surfaces à observer (entre 0,5 et 1,5 ha) au vu de la surface forestière guyanaise et de la définition des images satellites, une **stratification** a également été réalisée. Trois strates ont ainsi été créées [673] :

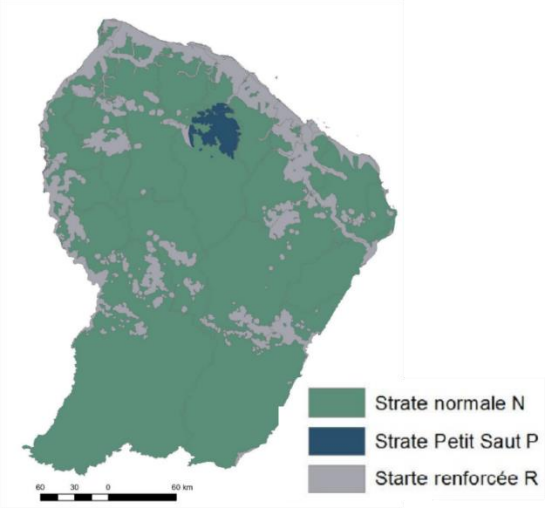
- Une strate dite « renforcée » (R) qui réunit l'ensemble des zones où la pression anthropique est forte et où la probabilité d'une modification de l'occupation du sol est la plus élevée. Les mangroves sont incluses dans cette strate qui possède un taux de sondage élevé.

**Figure 184 : Représentation des 3 strates d'échantillonnage pour le suivi des terres en Guyane français**

- Une strate dite « normale » (N) dans laquelle les changements d'occupation du sol sont très rares, voire absents. Cette strate possède un taux de sondage faible mais néanmoins suffisant pour détecter avec plus de neuf chances sur dix des changements de surface supérieurs à 10 000 hectares.
- Une strate P dite « de Petit Saut » afin de traiter le cas particulier du barrage de Petit Saut. Ce barrage a été mis en eau en 1995, ce qui a eu pour conséquence une surface déboisée exceptionnelle. Ainsi, afin d'individualiser les changements d'affectation des terres consécutifs à cette mise en eau, une strate spécifique a été constituée, avec un taux de sondage équivalent à celui de la strate renforcée.

Le schéma d'échantillonnage mis en place est ainsi conforme aux recommandations du GIEC sur trois points : i. échantillonnage systématique ; ii. placettes d'observation permanentes (le même échantillon est observé et interprété en 1990, 2006 et 2008) ; iii. stratification de l'échantillonnage à l'aide de données auxiliaires.

Le suivi d'occupation des sols et de changement d'occupation des sols est réalisé par interprétation visuelle (photo-interprétation) des images satellitaires de 1989, 2008 et 2012 (soit 16 786 points interprétés). Ainsi, pour chaque point du plan d'échantillonnage, une classe d'occupation du sol parmi les 6 classes définies par le GIEC, est attribuée, pour chacune des années (1990 en utilisant l'imagerie Landsat et 2006 et 2008 en utilisant les données SPOT). La surface prise en compte pour l'appréciation de l'utilisation du sol autour d'un point est une placette circulaire de 0.5 ha centrée autour du point échantillon.




En complément des classes d'occupation des terres classiques définies par les lignes directrices les cas suivants particuliers à la Guyane ont été pris en compte : **i.** la mangrove a été incluse dans la catégorie « Forêt » puisqu'elle en a les caractéristiques (taux de couvert et dimension des arbres la constituant) ; **ii.** les zones d'orpaillage, ont été affectées à la classe « Infrastructure » qui inclut toutes les terres affectées par des aménagements humains quelles que soient leurs dimensions ; **iii.** la ligne de côte de la Guyane est soumise à des fluctuations temporaires très importantes de plusieurs centaines de mètres du fait des dépôts de sédiments et des phénomènes d'érosion. Aussi, une partie du territoire peut passer, dans le temps, des terres émergées à la mer et inversement. Afin de comptabiliser une surface constante du territoire entre 1989 et 2008, l'inventaire a porté sur les limites administratives de la Guyane selon la BD CARTO © IGN. Il en résulte que certains points de l'échantillon ont pu se situer dans la mer à une des deux dates. Les points tombant en mer ont été affectés à la catégorie d'utilisation du sol « Autres terres ».

**Tableau 231 : Représentativité d'un point d'enquête dans chaque strate [673]**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Surface (ha) | 6 794 498 | 125 109 | 1 486 820 |
| Dimension de la maille (m) | 8 388 x 4 194 | 932 x 932 | 932 x 932 |
| Effectif échantillon | 1 926 | 1 443 | 17 130 |
| Surface d'extension réelle d'un point | 3 527,8 | 86,7 | 86,7 |

*Guadeloupe, Martinique et La Réunion*

Pour la Guadeloupe [383] et la Réunion [385], des images issues du satellite SPOT, sont utilisées pour déterminer visuellement l'occupation du sol en 1990 sur l'emplacement des points d'échantillonnage de l'enquête TerUti-LUCAS, disponible à partir de 2005. Pour la Martinique, le fort ennuagement des images disponibles en 1990 rendaient la photo-interprétation impossible. A la place, les images issues de la mission de Prises de Vue Aérienne (PVA) de 1988, (date disponible la plus proche), ont été interprétées visuellement. La nomenclature du Giec est utilisée, en incluant la mangrove dans la catégorie Forêt car elle en a les caractéristiques (taux de couvert et dimension des arbres).

L'occupation de l'année 2008 est déterminée directement à partir des résultats de l'enquête TerUti-Lucas, en réaffectant les catégories de la nomenclature initiale vers les six catégories Giec, en cohérence avec la table de correspondances utilisée pour la Métropole.

*Mayotte*

Il n'existe pas de travaux de suivi d'occupation des terres par télédétection et photo interprétation à Mayotte. Les matrices d'occupation des terres de Mayotte ont donc été construites en combinant plusieurs sources d'information [789, 790 et 791].

*Saint-Martin*

Les surfaces de Saint Martin (partie française) sont estimées d'après les données de l'ESA CCI-LC (Climate Change Initiative land cover version 2.0.7 1955-2015) [1054]. Aucun changement d'utilisation n'est comptabilisé.

*Traitements*

Les données décrites ci-dessus fournissent des résultats sous forme de matrices de changement, pour les 6 catégories d'utilisation du Giec. Les traitements consistent à générer des matrices sur l'ensemble de la période couverte par les inventaires (1970 à l'année d'inventaire). Entre deux dates d'observation, les changements sont supposés constants et sont donc annualisés en divisant les surfaces de changement par le nombre d'années de la période.

*Guyane*

En Guyane, les changements d'utilisation entre 1987 et 1989 sont extrapolés en appliquant les taux de changement observés entre 1989 et 2008. Les changements d'utilisation entre 1970 et 1987 ont été négligés. Après 2012, les changements d'utilisation des terres ont également été estimés en reportant les taux de changements observés entre 2008 et 2012, hormis pour les déboisements dont la valeur est mise à jour à partir d'un produit satellite.

*Guadeloupe, Martinique et La Réunion*

Pour la Guadeloupe [383], Martinique [384] et la Réunion [385], les matrices sont basées sur une étude par télédétection et photo interprétation [383] suivant le modèle de ce qui a été fait sur la Guyane permettant de déterminer les changements d'utilisation des terres entre 1989 et 2008 (période de 19 ans). Pour ces trois territoires, une seule période de suivi est disponible (1989 - 2008), les taux de changements annuels moyens de cette période sont appliqués à la série temporelle complète depuis 1970.

*Mayotte*

Plusieurs sources d'information [789, 790 et 791] permettent de reconstituer l'évolution des surfaces depuis 1970. Le taux de changements estimés ne sont donc pas constants au cours du temps, La matrice 20 ans 1989-2009 est présentée ci-après à titre d'exemple.

*Résultats*

Les travaux de photo-interprétation en Outre-Mer ont mené aux résultats présentés dans les tableaux suivants.

**Tableau 232 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Guyane (ha)**

| | | 2008 | | | | | | TOTAL 1989 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Forêt | Artificiel | Culture | Prairie | Zone humide | Autre | |
| **1989** | Forêt | 7 989 172 | 25 073 | 28 311 | 3 823 | 37 650 | 10 651 | 8 094 679 |
| | Artificiel | 910 | 16 009 | 637 | 273 | 0 | 0 | 17 829 |
| | Culture | 3 004 | 273 | 18 844 | 364 | 0 | 0 | 22 485 |
| | Prairie | 182 | 182 | 91 | 5 735 | 91 | 0 | 6 281 |
| | Zone humide | 4 734 | 546 | 1 365 | 273 | 234 082 | 3 368 | 244 369 |
| | Autre | 8 830 | 0 | 0 | 0 | 91 | 11 864 | 20 785 |
| **TOTAL 2008** | | 8 006 832 | 42 083 | 49 248 | 10 469 | 271 914 | 25 882 | 8 406 427 |

**Tableau 233 : Matrice 2008-2012 produite par les travaux de photo-interprétation en Guyane (ha)**

| | | 2012 | | | | | | TOTAL 2008 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Forêt | Artificiel | Culture | Prairie | Zone humide | Autre | |
| **2008** | Forêt | 7 992 006 | 4 630 | 6 918 | 1 092 | 1 001 | 1 183 | 8 006 832 |
| | Artificiel | 1 634 | 40 084 | 91 | 273 | 0 | 0 | 42 083 |
| | Culture | 1 912 | 91 | 45 425 | 1 548 | 0 | 273 | 49 248 |
| | Prairie | 182 | 91 | 273 | 9 922 | 0 | 0 | 10 469 |
| | Zone humide | 2 458 | 273 | 91 | 182 | 268 728 | 182 | 271 914 |
| | Autre | 3 186 | 0 | 0 | 182 | 0 | 22 514 | 25 882 |
| TOTAL 2012 | | 8 001 378 | 45 169 | 52 798 | 13 200 | 269 729 | 24 153 | 8 406 427 |

**Tableau 234 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Guadeloupe (ha)**

| | | 2008 | | | | | | TOTAL 1989 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Forêt | Artificiel | Culture | Prairie | Zone humide | Autre | |
| **1989** | Forêt | 58 457 | 2 007 | 2 389 | 5 161 | 430 | 48 | 68 492 |
| | Artificiel | 0 | 12 588 | 573 | 239 | 0 | 143 | 13 543 |
| | Culture | 96 | 1 673 | 22 261 | 7 025 | 48 | 0 | 31 103 |
| | Prairie | 48 | 3 536 | 3 966 | 39 510 | 96 | 191 | 47 347 |
| | Zone humide | 287 | 0 | 96 | 239 | 816 | 0 | 1 438 |
| | Autre | 0 | 0 | 48 | 48 | 96 | 908 | 860 |
| TOTAL 2008 | | 58 888 | 19 804 | 29 333 | 52 222 | 1 486 | 1 050 | 162 783 |

**Tableau 235 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Martinique (ha)**

| | | 2008 | | | | | | TOTAL 1989 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Forêt | Artificiel | Culture | Prairie | Zone humide | Autre | |
| **1989** | Forêt | 33 608 | 1 145 | 1 461 | 10 466 | 79 | 592 | 47 351 |
| | Artificiel | 79 | 10 782 | 0 | 237 | 0 | 158 | 11 256 |
| | Culture | 79 | 474 | 9 636 | 2 291 | 39 | 0 | 12 519 |
| | Prairie | 1 619 | 4 621 | 5 687 | 22 629 | 158 | 869 | 35 583 |
| | Zone humide | 553 | 79 | 39 | 79 | 711 | 0 | 1 461 |
| | Autre | 0 | 39 | 0 | 0 | 39 | 750 | 828 |
| TOTAL 2008 | | 35 938 | 17 140 | 16 823 | 35 702 | 1 026 | 2 369 | 108 998 |

**Tableau 236 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation pour La Réunion (ha)**

| | | 2008 | | | | | | TOTAL 1989 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Forêt | Artificiel | Culture | Prairie | Zone humide | Autre | |
| **1989** | Forêt | 95 463 | 1 218 | 1 948 | 5 033 | 0 | 568 | 104 230 |
| | Artificiel | 0 | 16 722 | 325 | 893 | 81 | 122 | 18 143 |
| | Culture | 325 | 4 749 | 32 795 | 2 354 | 81 | 81 | 40 385 |
| | Prairie | 1 502 | 5 520 | 3 085 | 58 569 | 0 | 4 221 | 72 897 |
| | Zone humide | 0 | 41 | 203 | 81 | 1 664 | 0 | 1 989 |
| | Autre | 284 | 325 | 0 | 1 258 | 203 | 11 486 | 13 556 |
| TOTAL 2008 | | 97 574 | 28 575 | 38 356 | 68 188 | 2 029 | 16 478 | 251 200 |

**Tableau 237 : Matrice 1989-2009 produite en combinant plusieurs sources d'information pour Mayotte (ha)**

| | | 2009 | | | | | | TOTAL 1989 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Forêt | Artificiel | Culture | Prairie | Zone humide | Autre | |
| 1989 | Forêt | 14 009 | 0 | 3 878 | 0 | 0 | 0 | 17 887 |
| | Artificiel | 0 | 1 650 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 650 |
| | Culture | 0 | 1 469 | 12 179 | 94 | 0 | 0 | 13 742 |
| | Prairie | 0 | 0 | 384 | 636 | 0 | 0 | 1 020 |
| | Zone humide | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 0 | 22 |
| | Autre | 0 | 0 | 0 | 514 | 0 | 2 566 | 3 080 |
| TOTAL 2009 | | 14 009 | 3 119 | 16 440 | 1 244 | 22 | 2 566 | 37 400 |

**Tableau 238 : Matrice 1989-2009 produite sur la base de données ESA CCI-LC pour Saint Martin (ha)**

| | | 2009 | | | | | | TOTAL 1989 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Forêt | Artificiel | Culture | Prairie | Zone humide | Autre | |
| 1989 | Forêt | 2 396 | | | | | | 2 396 |
| | Artificiel | | 453 | | | | | 453 |
| | Culture | | | 151 | | | | 151 |
| | Prairie | | | | 1 511 | | | 1 511 |
| | Zone humide | | | | | 809 | | 809 |
| | Autre | | | | | | 0 | 0 |
| TOTAL 2009 | | 2 396 | 453 | 151 | 1 511 | 809 | 0 | 5 320 |

Les matrices annuelles, présentant les résultats détaillés par année et par territoire, sont fournies dans l'Annexe LULUCF_Background.xlsx.

***Suivi des terres dans les autres territoires d'Outre-mer (hors périmètre UE)***

*Données*

*Nouvelle-Calédonie*

En Nouvelle-Calédonie, une estimation par l'ONFi en 2009 des surfaces des différentes formations végétales est utilisée [976]. Le reste du territoire est réparti entre les autres catégories d'après des hypothèses.

*Saint-Barthélemy*

La surface de Saint-Barthélemy est donnée par l'INSEE [610], la répartition entre types de terres est estimée à partir de photos aériennes. Aucun changement d'utilisation n'est comptabilisé.

*Saint Pierre et Miquelon*

Les surfaces de Saint-Pierre-et-Miquelon sont estimées en partie d'après un rapport de 2008 sur les bois de ce territoire [977] et le reste du territoire est réparti entre les autres catégories d'après des hypothèses.

*Polynésie Française*

En Nouvelle-Calédonie, une estimation de l'ONF de 2009 des surfaces des différentes forêts et plantations est utilisée [978]. Le reste du territoire est réparti entre les autres catégories d'après des hypothèses.

*Wallis et Futuna*

Un travail de cartographie de l'occupation du sol à Wallis-et-Futuna réalisé en 2008 [979]. Ces cartes sont issues de l'interprétation de photographies aériennes de 2004 et permettent l'estimation de différentes catégories (forêt dense, forêt claire, cocotiers, zones habitées et autres, cultures vivrières, toafa, tarodière…).

*Clipperton*

Pour Clipperton, aucune donnée précise n'a été identifiée. Seule des hypothèses générales sont utilisées pour répartir l'îlot entre « autres terres »et « zones humides ».

*Terres Australes et Antarctiques*

Pour les Terres Australes et Antarctiques françaises (TAAF), aucune donnée précise n'a été identifiée. L'hypothèse est faite que la totalité du territoire est en « autres terres ».

*Traitements*

Pour le moment, les surfaces des territoires d'Outre-Mer hors UE sont considérées sans changement. Ainsi, les surfaces estimées sont les mêmes pour toutes les années de la période de rapportage.

Les données disponibles, complétées ci-besoin d'hypothèses, sont utilisées pour estimer les surfaces annuelles (sans évolution). Les catégories initiales sont converties dans le système des catégories Giec, en précisant le type de forêt, d'après les tables de correspondance suivantes :

**Nouvelle-Calédonie**

| Catégorie initiale | Catégorie finale |
|---|---|
| Forêt dense sempervirente | Forêt feuillue |
| Formation à Niaoulis | Forêt feuillue |
| Formations forestières diverses | Forêt mixte |
| Maquis | Prairies |
| Fourrés | Prairies |
| Savane | Prairies |
| Autres | Réparti dans les autres catégories (Artificiel, Cultures, Zones humides, Autres terres) selon des hypothèses distinguant Grande Terres et autres îles. |

**Wallis et Futuna**

| Catégorie initiale | Catégorie finale |
|---|---|
| Forêt dense, Vao | Forêt feuillue |
| Cocotiers | Forêt feuillue |
| Forêt claire | Forêt feuillue |
| Toafa (« désert » et landes) | Autres Terres |
| Pinus (dont plantations) | Forêt résineux |
| Vivrier | Cultures |
| Tarodière | Cultures |
| Autres (Zones habitées…) | Artificiel |
| Sols nus | Autres Terres |
| Lacs | Zones Humides |
| Mangroves | Zones Humides |

**Polynésie française**

| Catégorie initiale | Catégorie finale |
|---|---|
| Plantation coco | Forêt feuillue |
| Plantation Pin | Forêt résineux |
| Plantation protection | Forêt mixte |
| Plantation f. précieux | Forêt feuillue |
| Forêts I et II | Forêt mixte |
| Solde | Réparti dans les autres catégories (Artificiel, Cultures, Zones humides, Autres terres) |

*Résultats*

Les surfaces annuelles (sans changement) de 1970 à l'année inventoriée, pour chaque territoire d'Outre-Mer hors UE, sont les suivantes :

| *en ha* | Nouvelle-Calédonie | Wallis et Futuna | Polynésie | St-Pierre et Miquelon | Clipperton | TAAF | St-Barth. | *Total* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Forêt feuillue | 602 595 | 10 190 | 50 391 | 0 | 0 | 0 | 600 | *663 776* |
| Forêt résineux | 0 | 452 | 6 096 | 3 000 | 0 | 0 | 0 | *9 548* |
| Forêt mixte | 114 000 | 0 | 195 276 | 0 | 0 | 0 | 0 | *309 276* |
| Cultures | 33 925 | 570 | 25 084 | 0 | 0 | 0 | 0 | *59 579* |
| Prairies | 999 150 | 0 | 0 | 3 630 | 0 | 0 | 600 | *1 003 380* |
| Zones humides | 6 613 | 61 | 0 | 7 260 | 7 200 | 0 | 0 | *21 134* |
| Artificiel | 23 863 | 1 321 | 25 084 | 1 210 | 0 | 0 | 960 | *52 438* |
| Autres Terres | 67 850 | 1 702 | 50 169 | 9 100 | 1 700 | 439 677 | 240 | *570 438* |
| Total | 1 847 995 | 14 296 | 352 100 | 24 200 | 8 900 | 439 677 | 2 400 | *2 689 568* |

L'intégralité des surfaces d'utilisation des terres et de changement d'utilisation des terres utilisées dans l'inventaire est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

***Méthodes d'estimation des réservoirs de carbone***

L'inventaire UTCATF de la France estime les flux de gaz à effet de serre entre tous les réservoirs de carbone définis par les lignes directrices du Giec.

**Contexte : lignes directrices du Giec**

Pour l'inventaire UTCATF il est demandé d'estimer l'ensemble des flux de carbone intervenant entre différents réservoirs de carbone afin d'estimer les flux de CO2 qui ont lieu entre les terres et l'atmosphère. Ces réservoirs sont :

- la biomasse vivante aérienne,
- la biomasse vivante souterraine,
- le bois mort,
- la litière,
- le carbone organique du sol
- les produits ligneux récoltés

Pour appréhender ce système, le GIEC présente deux méthodes :

➢ **la méthode des flux.** Elle nécessite d'estimer directement les flux bruts entrant et sortant d'un réservoir, ce qui revient par exemple à estimer les accroissements forestiers (flux entrant du réservoir biomasse vivante) et les récoltes (flux sortant du réservoir biomasse vivante). Cette méthode permet de connaître également l'évolution du réservoir en question, la biomasse vivante dans cet exemple.

**Équation 2 (UTCATF)**
**(inspirée de l'équation 2.7 du GIEC 2006 [672])**

$$\Delta C = \Sigma_{ijk} [A_{ijk} \bullet (CI - CL)_{ijk}]$$

Avec :

ΔC = Variation de stock de carbone du réservoir, t C/an
A = Surface de la terre, ha
*ijk* = Indices correspondant aux climat *i*, type de forêt *j*, type de gestion *k*, etc.
CI = Gain en carbone, t C/ha/an
CL = Perte de carbone, t C/ha/an

➢ **La méthode des variations de stocks.** A partir de valeurs de stocks connues à deux moments différents pour un réservoir de carbone, il est possible de déterminer le flux net de carbone pour ce réservoir. Cette méthode permet de manière indirecte de connaître les flux bruts mais nécessite de faire des hypothèses complémentaires.

**Équation 3 (UTCATF)**
**(inspirée de l'équation 2.8 du GIEC 2006 [672])**

$$\Delta C = \Sigma_{ijk} (Ct_2 - Ct_1) / (t_2 - t_1)_{ijk}$$

*Avec :*
$Ct_1$ =*Stock de carbone à l'instant t1, t C*
$Ct_2$ =*Stock de carbone à l'instant t2, t C*

Dans l'inventaire français, l'une et l'autre des méthodes sont utilisées en fonction de la disponibilité des données et de l'importance des flux en question.

*Méthode appliquée en Métropole*

Les calculs des flux de carbone sont effectués, en partie à l'échelle de la maille, en partie à échelle régionale (22 anciennes régions administratives).

Les calculs réalisés à l'échelle de la maille de 0,25 ha se basent sur l'évolution des stocks de carbone (modèle de variation de stock à la maille) pour les 10 compartiments suivants :

**Tableau 239 : Compartiments carbone pris en compte (métropole)**

| Grand compartiment | statut | catégorie | type | strate | code | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| biomasse | vivante | ligneuse | forêt | aérien | lb_f_a | |
| | | | | racinaire | lb_f_r | |
| | | | culture pérenne | aérien | lb_cp_a | |
| | | | | racinaire | lb_cp_r | |
| | | herbacée | culture annuelle | aérien & racinaire | lb_ca | |
| | | | herbe | aérien & racinaire | lb_hh | |
| | morte (*DOM*) | bois mort | | | dw | |
| | | litière | | | lt | |
| sol | | | minéraux | | s_min | |
| | | | organiques | | s_org | |

*DOM : dead organic matter (matière organique morte)*

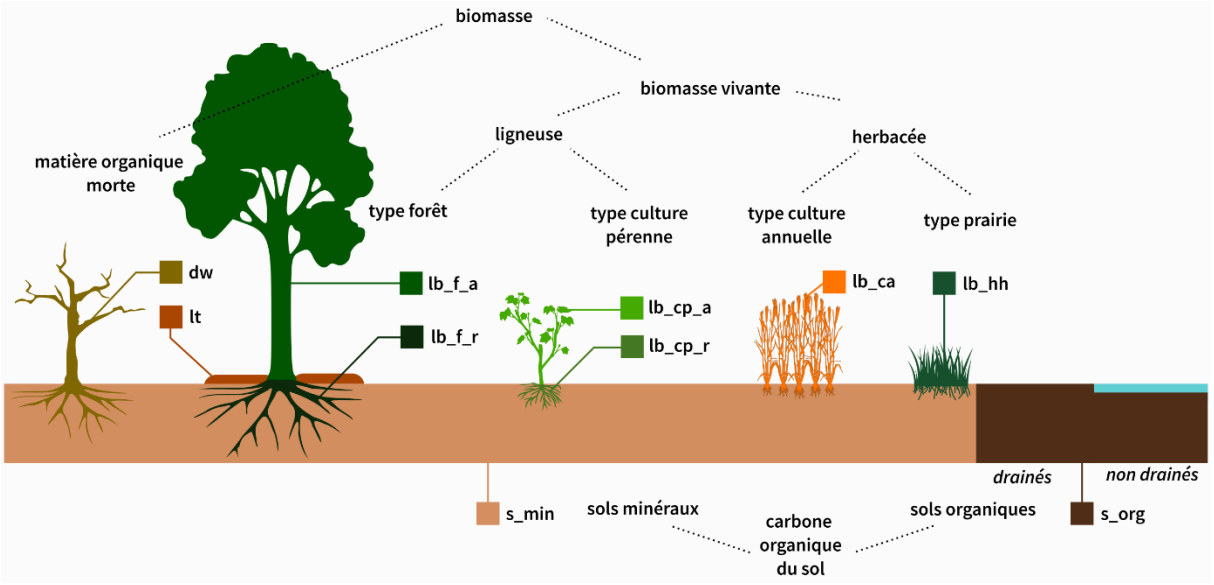



**Figure 185 : Présentation schématique des différents compartiments carbone considérés pour le calcul**

Des stocks de carbone de référence sont renseignés pour toutes les catégories d'utilisation des terres de la nomenclature pour tous les compartiments listés ci-dessus. Ils dépendent des zones pédoclimatiques pour les sols, des sylvoécorégions pour la biomasse type forêt et le bois mort, des grandes régions écologiques (GRECO) pour la litière, ou sont des stocks nationaux pour les autres compartiments. Pour les sols ils dépendent également des pratiques culturales et sont donc redéfinis annuellement.

Les stocks de chaque centroïde pour chaque compartiment sont initialisés en 1990. Puis, pour chaque année de leur série temporelle, leur stock hérité (stock de l'année précédente) est comparé à leur nouveau stock de référence. Si celui-ci diffère, par exemple si l'utilisation du sol a été modifiée, les stocks de carbone de chaque compartiment tendent vers leur nouveau stock de référence et les flux associés sont retenus pour l'année en question. La vitesse d'atteinte du nouveau stock de référence est bornée : les flux de pertes ou de gains maximum sont définis pour chaque utilisation du sol. Ils sont calibrés pour que la conversion se réalise si le centroïde reste effectivement 20 ans dans la catégorie finale d'utilisation des terres de la conversion dans la majorité des cas, ou pour perdre le stock rapidement (en 1 an ou 5 ans) pour des défrichements ou de l'artificialisation par exemple. Les vitesses de constitution des stocks en forêt pour la biomasse vivante de type forêt et pour le bois mort sont fixés à 40 ans (par hypothèse).

**Equation 4 (UTCATF) : Routine de calcul du modèle de variation de stock par maille :**

Initialisation en 1990 : $\boldsymbol{stock_{1990} = stock_ref_{1990}}$

Puis pour chaque année :

Si $\boldsymbol{stock_ref_n = stock_herite_n}$ alors $\boldsymbol{stock_n = stock_herite_n}$

Si $\boldsymbol{stock_ref_n < stock_herite_n}$ alors $\boldsymbol{stock_n = max\,(stock_ref_n\,, stock_herite_n - pertes_n)}$

Si $\boldsymbol{stock_ref_n > stock_herite_n}$ alors $\boldsymbol{stock_n = min\,(stock_ref_n\,, stock_herite_n + gains_n)}$

Et $\boldsymbol{flux_n = stock_n - stock_{n-1}}$

**Tableau 240 : Illustration de la routine de calcul du modèle de variation de stock par maille.**

*Présentation de stock et flux relatifs au compartiment litière pour une maille agricole en 1990 devenant forêt en 1992, puis artificialisée en 2013 (cas fictif). Les valeurs sont données pour une maille et non à l'hectare.*

| Année | Catégorie d'usage | Gains max (tC/an) | Pertes max (tC/an) | Stock référence (stock_ref tC) | Stock hérité (tC) | Stock (tC) | Flux (tC/an) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 11bh | 0 | 2.50 | 0 | | 0 | 0 |
| 1991 | 11bh | 0 | 2.50 | 0 | 0 | 0 | |
| 1992 | 21ff | 0.11 | 0 | 2.25 tC | 0 | Min(2.25 ; 0 + 0.11) = 0.11 | 0.11 |
| 1993 | 21ff | 0.11 | 0 | 2.25 tC | 0.11 | Min(2.25 ; 0.11 + 0.11) = 0.22 | 0.11 |
| (...) | | | | | | | |
| 2011 | 21ff | 0.11 | 0 | 2.25 tC | 2.14 | Min(2.25 ; 2.14 + 0.11) = 2.25 | 0.11 |
| 2012 | 21ff | 0.11 | 0 | 2.25 tC | 2.25 | 2.25 | 0 |
| 2013 | 31bn | 0 | 2.50 | 0 | 2.25 | Max(0 ; 2.25 – 2.50) = 0 | - 2.25 |

Les gains et les pertes ont été calibrés pour chaque catégorie d'usage pour refléter les dynamiques de conversion. Ils sont décrits pour chaque compartiment dans les parties suivantes. La plupart du temps ils sont calculés pour qu'une conversion entre deux stocks de référence prenne 20 années. C'est le cas par exemple pour la litière (exemple du tableau, le stock de litière en forêt est atteint au bout de 20 ans). En revanche, pour les défrichements (compartiment biomasse, bois mort, litière) par exemple, les durées sont calibrées plus courtes et les flux de pertes sont très élevés, afin de faire perdre la totalité du stock en une année.

Cette méthode permet pour une maille qui changerait d'usage plusieurs fois de ne pas forcément atteindre le premier stock cible. Par exemple, une culture convertie en forêt puis artificialisée au bout de 5 ans ne perdra pas la totalité d'un stock forestier, mais bien seulement le stock qui aura été constitué pendant ces 5 ans.

*Méthode appliquée pour les Outre-Mer*

Le modèle à la maille n'existe pas hors métropole faute de données relatives au suivi géographique des surfaces de changement d'utilisation de terres. Une méthode de calcul plus classique est appliquée pour les conversions (type équation 3 présentée dans l'encadré en début de partie). Les données utilisées pour les stocks relatifs aux différents compartiments seront détaillés dans chaque sous partie

***Biomasse vivante aérienne et souterraine***

*Définitions*

Afin de ne pas négliger les pertes de biomasse lors des changements d'usages des terres, par exemple la perte de la biomasse des vergers convertis en forêts, différents types de biomasse sont pris en compte dans le modèle de variation de stock de carbone à la maille :

**Tableau 241 : Rappel des types de biomasse pris en compte pour le calcul**

| Compartiment | statut | catégorie | type | strate | code |
|---|---|---|---|---|---|
| biomasse | vivante | ligneuse | forêt | aérien | lb_f_a |
| | | | | racinaire | lb_f_r |
| | | | culture pérenne | aérien | lb_cp_a |
| | | | | racinaire | lb_cp_r |
| | | herbacée | culture annuelle | aérien & racinaire | lb_ca |
| | | | herbe | aérien & racinaire | lb_hh |

La biomasse vivante aérienne que l'on appelle de type « forêt » se compose des parties aériennes des essences arborées recensables (diamètre > 7,5 cm à la hauteur de 1,3 m). Cela exclut les essences ligneuses du sous-bois et les arbres sous le seuil de recensabilité. La biomasse vivante aérienne de type forêt est l'un des réservoirs clé du secteur UTCATF. Elle peut constituer des stocks très importants et peut fluctuer de manière rapide en fonction de la gestion associée.

La biomasse aérienne des prairies arbustives et des zones arborées hors forêt (zones artificielles arborées) est également classée de « type forêt ». Les successions possibles entre prairies arbustives et forêt (enfrichement), ainsi que la proximité

possible entre les classes de nomenclature ont justifié ce choix. Si un changement d'usage est réalisé au sein de ces classes de nomenclature, le modèle de variation à la maille considèrera seulement le gain ou la perte de stock lors de la transition, mais sans passer par une perte de toute la biomasse.

En revanche, lors de la conversion d'une classe « vignes » à une classe « forêt », il faut tenir compte de la perte de toute la biomasse des vignes lors de l'arrachage, puis de la repousse d'un autre type de biomasse. C'est pourquoi la biomasse vivante, dite de « type cultures permanentes » est considérée à part.

Pour la biomasse ligneuse type forêt et type culture pérennes, la biomasse vivante aérienne est distinguée de la biomasse vivante souterraine. La biomasse vivante souterraine inclut l'ensemble des racines à l'exception des racines fines déjà prises en compte dans la litière et le carbone organique du sol.

Hors métropole, il n'y a pas de distinction entre les différents types de biomasse, car le modèle de variation de stock à la maille n'est pas utilisé.

*Données*

*Biomasse vivante en Outre-Mer (sans distinction entre types de biomasse)*

Pour estimer les émissions liées aux défrichements des valeurs de stocks forestiers moyens perdus lors de défrichements sont utilisées en Outre-Mer. Il ne s'agit pas des stocks moyens en forêt mais des stocks perdus lors d'un défrichement.

**Tableau 242: : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne en Outre-mer (peuplements forestiers)**

| Périmètre | Région | Feuillus | Mixte | Résineux | Peupliers | Source de données |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Outre-mer inclus dans l'UE (5 régions) | Guyane | 166 | n.d | n.d | n.d | ONF-CIRAD [328] |
| | Guadeloupe | 49 | n.d | n.d | n.d | ONF [386] |
| | Martinique | 48 | n.d | n.d | n.d | ONF [386] |
| | Réunion | 5 | n.d | n.d | n.d | ONF [386] |
| | Mayotte | 75 | n.d | n.d | n.d | ONF [386] |
| Autres territoires | | n.d | n.d | n.d | n.d | |

n.d : non déterminé

Aucune donnée spécifique à la biomasse racinaire n'est utilisée. La fraction souterraine de la biomasse vivante est estimée indirectement à partir de la fraction aérienne, à l'aide de facteurs d'expansion racinaire de l'ONF [386].

Les valeurs obtenues avec les facteurs d'expansion sont indiquées dans le tableau suivant.

**Tableau 243 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante racinaire en Outre-mer (peuplements forestiers)**

| Périmètre | Région | Feuillus | Mixte | Résineux | Peupliers | Source de données |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Outre-mer inclus dans l'UE (5 régions) | Guyane | 26 | n.d | n.d | n.d | ONF-CIRAD [328] |
| | Guadeloupe | 11 | n.d | n.d | n.d | ONF [386] |
| | Martinique | 10 | n.d | n.d | n.d | ONF [386] |
| | Réunion | 1 | n.d | n.d | n.d | ONF [386] |
| | Mayotte | 17 | n.d | n.d | n.d | ONF [386] |
| Autres territoires | | n.d | n.d | n.d | n.d | |

n.d : non déterminé

En Outre-mer, le stock de biomasse vivante pour les zones non forestières est estimé à partir du Giec (2006) :

- En culture : 10 tC/ha (Giec, 2006, Table 5.9)
- En prairie : 16,1 tMS/ha (2006, Table 6.4) * 0.475 (tC/tMS) = 7.6 tC/ha

Ces valeurs sont utilisées pour les territoires d'Outre-Mer sauf pour la Réunion, où la valeur de stock de biomasse forestière est tellement basse (5 tC/ha, tableau 63) que les stocks hors forêt sont estimés à 0. Pour rappel, il n'y a pas de distinction entre type de biomasse pour l'Outre-Mer, les données ci-dessous correspondent donc à la fois à de la biomasse ligneuse et herbacée.

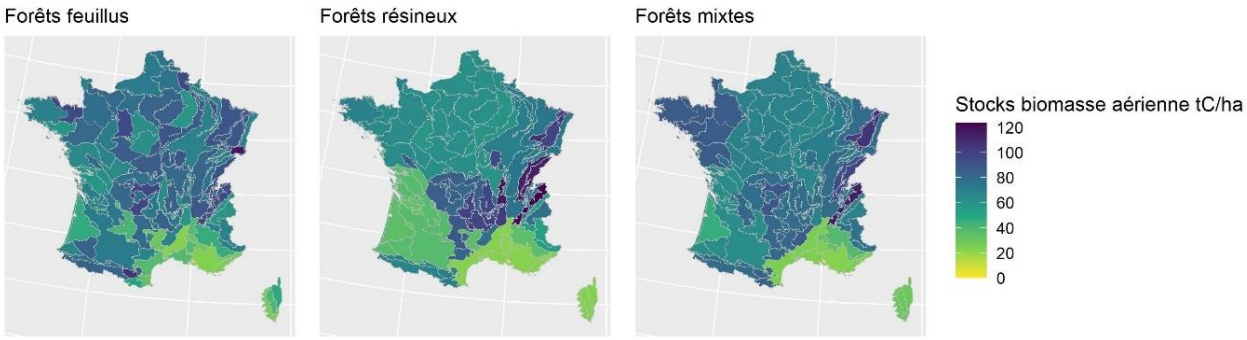
**Tableau 244 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne hors forêt (Outre-Mer)**

| | Culture | Prairie boisée | Prairie non boisée | Zone urbanisée | Zone humide | Source de données |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Guyane | 10 | 7,6 | 7,6 | 0 | 0 | Giec 2006 |
| Guadeloupe | 10 | 7,6 | 7,6 | 0 | 0 | Giec 2006 |
| Martinique | 10 | 7,6 | 7,6 | 0 | 0 | Giec 2006 |
| Réunion | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | hypothèse |
| Mayotte | 10 | 7,6 | 7,6 | 0 | 0 | Giec 2006 |

Les flux de carbone (croissance, mortalité, prélèvements) en biomasse hors forêt pour les terres sans changement sont estimés à l'équilibre en Outre-mer (voir section 2.1.1.1).

*Biomasse vivante ligneuse « type forêt » (métropole)*

Dans l'inventaire français, la majorité des informations relatives à la biomasse vivante aérienne de type forêt, en zone forestière, provient de l'inventaire forestier national réalisé par l'IGN. Les stocks de biomasse vivante aérienne par sylvoécorégions en forêt fournis par l'IGN pour la campagne 2016-2020 sont utilisés [594], par type de peuplement (résineux, feuillus, mixte). Lorsque le stock moyen par hectare n'est pas significatif, le stock de la grande région écologique (GRECO) est retenu.




*Lorsque le stock par sylvoécorégion n'est pas significatif, le stock est égal au stock de la GRECO.*

**Figure 186 : Stocks de carbone (tC/ha) en biomasse vivante aérienne de type forêt pour les principaux types de peuplements par sylvoécorégion en métropole (Source : Citepa à partir des données IGN campagne 2016-2020 [594])**

Aucune donnée spécifique à la biomasse racinaire de type forêt n'est utilisée. La fraction souterraine de la biomasse vivante est estimée indirectement à partir de la fraction aérienne, à l'aide de facteurs d'expansion racinaire provenant de l'étude Carbofor [204] pour la métropole (voir détails dans la partie *4A_Forestland*).

Des stocks de biomasse de type forêt peuvent également être non nuls dans des terres non forestières. Ce sont les catégories d'utilisation des terres 12cp, 200, 210, 220, 22bq, 320, 32va. Par défaut il est considéré que les stocks pour ces terres sont égaux aux stocks des forêts mixtes de la même sylvoécorégion. Les stocks des maquis sont issus de l'étude Medinet [993], soit 7,8 tC/ha. Pour la catégorie landes, intermédiaire par définition entre une prairie et une zone arbustive, les stocks sont fixés à la moitié du stock de maquis.

L'ensemble des stocks à l'hectare aériens et racinaires, ainsi que les flux de gains (accroissement) et pertes de chaque catégorie d'usage pour la métropole sont résumés dans le tableau suivant. Ils permettent d'alimenter le modèle de calcul de variation de stock à la maille décrit plus haut.

Les pertes sont calibrées pour perdre l'intégralité de la biomasse en 1 an lors d'une conversion (défrichement). Pour les peuplements forestiers ou les catégories assimilées à la catégorie forêt mixtes, les gains sont fixés pour atteindre le stock de référence en 40 ans. Pour les catégories d'usage non forestières (maquis, landes), la valeur d'accroissement de l'étude Medinet [993] calibrée sur 20 ans est utilisée.

**Tableau 245 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante type forêt (métropole)**

| Catégorie d'usage | Stock aérien (tC/ha) | Stock racinaire (tC/ha) | Gains aériens (tC/ha/an) | Gains souterrains (tC/ha/an) | Pertes aérienne (tC/ha/an) | Pertes racinaire (tC/ha/an) | Source de données |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21fc | 62 [21 ; 126] | 14 [5 ; 29] | 1,2 [0,4 ; 2,4] | 0,4 [0,1 ; 0,7] | 0 | 0 | IGN campagne 2016-2020 [594] et hypothèses de flux |
| 21ff | 71 [20 ; 127] | 12 [3 ; 21] | 1,1 [0,3 ; 1,9] | 0,3 [0,1 ; 0,5] | 0 | 0 | |
| 21fm | 70 [21 ; 120] | 13 [4 ; 23] | 1,1 [0,4 ; 2] | 0,3 [0,1 ; 0,6] | 0 | 0 | |
| 21fp | 80 | 16 | 1,4 | 0,4 | 0 | 0 | |
| 22mq | 8 | 11 | 0,4 | 0,5 | 200 | 50 | Medinet (schrublands) [993] |
| 22la | 4 | 6 | 0,2 | 0,3 | 200 | 50 | 50% du stock des maquis Medinet (schrublands) [993] |
| 12cp, 200, 210, 220, 22bq, 320, 32va | *Assimilé à forêt mixte (21fm)* | | | | | | Estimation : égal aux données de forêt mixte |
| Autres catégories | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 | 50 | Par défaut |

Pour les catégories forestières, les valeurs moyennes sont indiquées, puis entre crochets la valeur minimale et la valeur maximale. Pour rappel, elles diffèrent par sylvo-écorégion.

En plus des flux de carbone issus du modèle de variation de stock à la maille, des flux seront appliqués via la méthode des flux pour la forêt restant forêt. L'IGN fournit ainsi ces données de flux, en tonnes de carbone, pour la production, la mortalité, et les prélèvements en forêt. Ces données sont présentées dans la section forêt (section § 2.2.2). Elles sont disponibles par interrégion et ne sont pas utilisées directement pour le modèle de flux de carbone à la maille. Elles seront prises en compte dans les totaux des flux en forêt restant forêt, à l'échelle des 22 anciennes régions administratives.

Les flux de carbone (croissance, mortalité, prélèvements) en biomasse hors forêt pour les terres sans changement sont estimés à l'équilibre en métropole (voir section 2.1.1.1).

*Biomasse vivante ligneuse type cultures pérennes (métropole)*

Pour les cultures pérennes et ligneuses (vergers, vignes), l'étude Medinet [993] est de nouveau utilisée pour déterminer les stocks aériens et racinaires, ainsi que l'accroissement (gains) pour ces catégories d'usage des terres. Ces gains correspondent à l'atteinte du stock de référence en 20 ans.

Les pertes sont calibrées pour perdre l'intégralité de la biomasse en 1 an lors d'une conversion (défrichement, arrachage).

**Tableau 246 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante type cultures pérennes (métropole)**

| Catégorie d'usage | Stock aérien (tC/ha) | Stock racinaire (tC/ha) | Gains aérienne (tC/ha/an) | Pertes aérienne (tC/ha/an) | Gains racinaire (tC/ha/an) | Pertes racinaire (tC/ha/an) | Source de données |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 120 | 2,75 | 2,2 | 0,14 | 20 | 0,11 | 10 | Estimation : stocks moyens des cultures pérennes |
| 12af | 8,5 | 5,8 | 0,43 | 20 | 0,29 | 10 | Medinet [993], table 27 & 30 |
| 12cp | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 10 | Catégorie contenant: taillis à courte rotation, forêts exploitées pour porcs etc. : la biomasse est qualifiée de type forêt (voir table biomasse associée) . |
| 12cq | 8,5 | 5,8 | 0,43 | 20 | 0,29 | 10 | Estimation : égal au stock des arbres fruitiers |
| 12ol | 9,1 | 2,6 | 0,46 | 20 | 0,13 | 10 | Medinet, table 27. |
| 12vi | 5,5 | 4,4 | 0,28 | 20 | 0,22 | 10 | Medinet, table 27. |
| Autres catégories | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 10 | Par défaut |

*Biomasse vivante herbacée type cultures annuelle et type herbe (métropole)*

La biomasse herbacée est prise en compte, en différenciant la biomasse en cultures annuelles (blé, maïs…), des autres types de biomasse herbacées (appelés type « autres » ou type « herbe »). Ce sont les herbacées en prairies, zones artificielles, forêt, et toutes les autres catégories. Les gains et les pertes sont calibrés pour avoir lieu de façon annuelle, si on a une conversion entre culture et prairie, toute la biomasse type culture est perdue, et toute la biomasse type prairie est gagnée en 1 an.

Les stocks sont estimés à partir des données de production agricoles du SSP [410] utilisées pour les calculs du secteur Agriculture. Les données utilisées sont des stocks moyens de l'année de production (la moitié du stock récolté). Pour les catégories intermédiaires et les autres catégories, des estimations relatives au taux de couvert de la strate herbacée ont été réalisées. Pour les forêts par exemple, on considère 10% de couvert du stock en prairies. L'ensemble des stocks et flux associés aux différentes catégories sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 247 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment biomasse vivante herbacée (type cultures annuelles et type herbe) (métropole)**

| Catégorie d'usage | Biomasse vivante herbacée type cultures annuelles | | Biomasse vivante herbacée type herbe | | Source de données |
|---|---|---|---|---|---|
| | Stock (tC/ha) | Gains/Pertes (tC/ha) | Stock (tC/ha) | Gains/Pertes (tC/ha) | |
| Cultures annuelles (codes 11xx) | 3,6 | 3,6 | 0,0 | 6,30 | SSP [410] ou estimation liée au couvert supposé de la strate herbacée pour la catégorie |
| Cultures permanentes (codes 12xx) | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 6,30 | |
| Prairies non permanentes et jachères (codes 13xx) | 3,6 | 3,6 | 0,0 | 6,30 | |
| 14pp | 0,0 | 3,6 | 6,3 | 6,30 | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Forêts (codes 21xx) | 0,0 | 3,6 | 0,2 | 6,30 | |
| 220 | 0,0 | 3,6 | 1,0 | 6,30 | |
| 22bq | 0,0 | 3,6 | 0,2 | 6,30 | |
| 22la | 0,0 | 3,6 | 1,0 | 6,30 | |
| 22mq | 0,0 | 3,6 | 0,5 | 6,30 | |
| 22pe | 0,0 | 3,6 | 1,6 | 6,30 | |
| 300 | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 6,30 | |
| 310 | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 6,30 | |
| 31ba | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 6,30 | |
| 31bn | 0,0 | 3,6 | 2,1 | 6,30 | |
| 320 | 0,0 | 3,6 | 4,2 | 6,30 | |
| 32va | 0,0 | 3,6 | 6,3 | 6,30 | |
| 32vh | 0,0 | 3,6 | 0,2 | 6,30 | |
| 400 | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 6,30 | |
| 410 | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 6,30 | |
| 41ea | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 6,30 | |
| 41in | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 6,30 | |
| 41tb | 0,0 | 3,6 | 6,3 | 6,30 | |
| 41ms | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 6,30 | |
| 41zh | 0,0 | 3,6 | 6,3 | 6,30 | |
| Autres terres (codes 42xx) | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 6,30 | |

*Biomasse vivante des haies (métropole)*

Les haies ne sont pas considérées comme une catégorie d'usage des terres mais comme un compartiment carbone (un type de biomasse), pouvant se retrouver dans différentes catégories d'usage (en cultures, en prairies...).

*Suivi du linéaire*

Avant l'utilisation du suivi des terres spatialement explicite, le linéaire de haies était suivi par l'enquête TerUti du SSP [1025], en tant que type d'usage des terres spécifique. Il n'est pour l'instant pas possible de proposer une méthode spatialement explicite pour étudier l'évolution du linéaire de haies, fautes de millésimes exploitables. Trois sous-périodes de l'enquête TerUti ont été exploitées pour proposer un suivi de la biomasse en haies (1982-1989 ; 1993-2003 ; 2007-2015). Elles sont traitées séparément car des évolutions méthodologiques les rendent difficilement comparables.

Un taux moyen d'apparition de haies (en ha/an), et de disparition de haies est déduit pour chaque sous-période, en culture, en prairie, et dans les autres catégories d'usage des terres, et ce par ancienne région administrative. Certains types de conversions ont été filtrés pour limiter les faux-changements, par exemple les conversions forêts-haies. Des rythmes de reculs nets du linéaire de de 6400 ha/an pendant les années 1990, 2960 ha/an pendant les années 2000 et enfin 5265 ha/an au début des années 2010 sont obtenus.

### *Estimation des stocks*

Les stocks de carbone dans la biomasse sont ensuite estimés à partir d'une étude de l'IGN relative aux haies bocagères [1274]. Les stocks fournis sont en tC/km de haies. Une conversion en stocks par hectare est réalisée grâce à des valeurs de largeurs de haies moyennes estimées via la comparaison entre les surfaces Teruti et les linéaires en km de l'étude. Les stocks retenus varient entre 34 et 52 tC/ha, aérien et racinaire compris selon les régions.

### *Déduction des flux*

L'estimation des gains et pertes de carbone liés à l'évolution du linéaire est faite uniquement pour la biomasse. Il n'y a pas de prise en compte de la variation de stocks dans le compartiment sol. Le stock est estimé gagné en 20 ans, et perdu en 1 an.

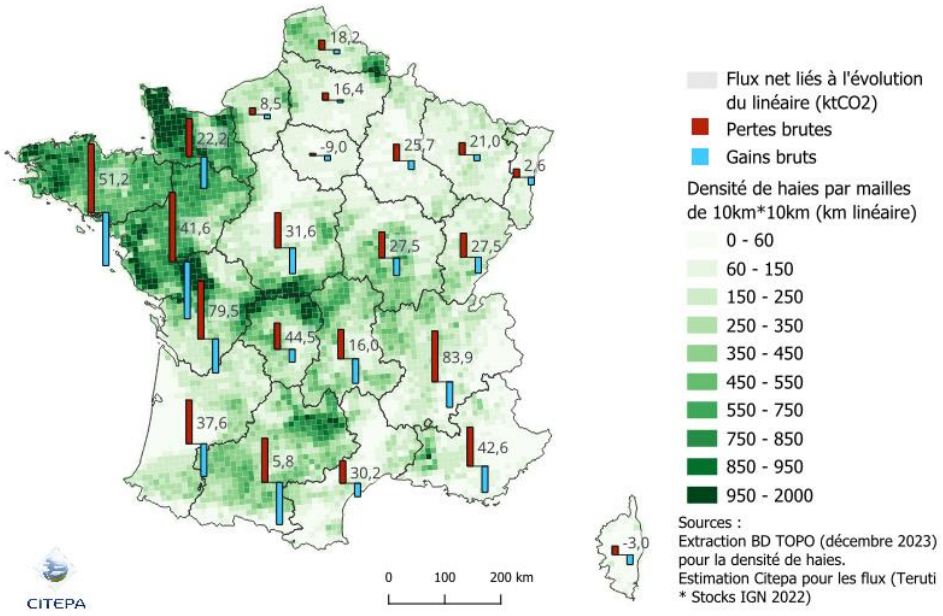



**Figure 187 : Résultats méthode Citepa haies, flux moyens pour la période inventaire (1990-2022)**

***Bois mort***

*Définition*

On considère trois origines au bois mort : la mortalité naturelle des arbres sur pied, la mortalité exceptionnelle en cas de tempêtes (chablis) et l'abandon des résidus de récolte de bois lors de l'exploitation des parcelles forestières. La création ou la disparition d'un stock de bois mort lors d'un boisement ou d'un déboisement est aussi comptabilisée.

*Données*

Les données de l'IGN [202] de mesures des stocks de bois mort, combiné à une estimation de leur date de mortalité permettent d'estimer la mortalité des arbres sur pied en forêt en Métropole. Le bois mort reste principalement, d'après l'IGN, lié à la compétition (élagage naturel) et non à la sylviculture. Aucune donnée n'est mobilisée pour les flux de mortalité de l'Outre-Mer.

Les données de l'IGN ont permis de quantifier la mortalité exceptionnelle liée aux tempêtes de 1999 et 2009 qui ont modifié fortement les stocks de bois mort en forêt.

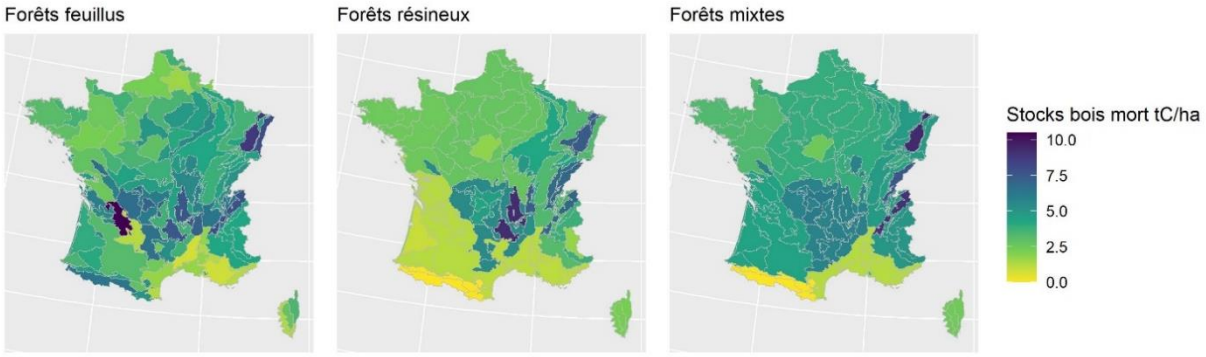
Le Guide du Giec [1996 5.31 ; 2006 [672] ch.4 encadré 4.2, valeur par défaut pour les feuillus] permet d'estimer à 10% la part de la biomasse aérienne récoltée qui est abandonnée sur le site d'exploitation. Cette valeur a été jugée pertinente par les experts forestiers français.

Les stocks de bois mort, utilisés pour estimer la création ou la disparition d'un stock de bois mort lors d'un boisement ou d'un déboisement sont les stocks fournis par la campagne IGN 2016-2020 [594] par sylvoécorégion. Lorsque le stock de la sylvoécorégion n'est pas significatif, le stock de la GRECO (grande région écologique) est utilisé. Ces valeurs seront les valeurs de référence utilisées pour le module de variation de stock à la maille. En Guyane et dans les autres territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE, ce stock de bois mort est estimé de manière spécifique grâce aux études des données dendrométriques [328, 386].

**Tableau 248 : Stocks de carbone (tC/ha) dans le bois mort des terres forestières**

| Périmètre | Région | Feuillus | Mixte | Résineux | Peupliers | Source de données |
|---|---|---|---|---|---|---|
| France métropolitaine | | variable selon les sylvoécorégions (voir carte) | | | | [206] |
| Outre-mer inclus dans l'UE (5 régions) | Guyane | 8,8 | n.d | n.d | n.d | [328] |
| | Guadeloupe | 1,2 | n.d | n.d | n.d | [386] |
| | Martinique | 1,2 | n.d | n.d | n.d | [386] |
| | Réunion | 0,1 | n.d | n.d | n.d | [386] |
| | Mayotte | 1,9 | n.d | n.d | n.d | [386] |
| Autres territoires | | n.d | n.d | n.d | n.d | |

n.d : non déterminé




*Lorsque le stock par sylvoécorégion n'est pas significatif, le stock est égal au stock de la GRECO.*

**Figure 188: Stocks bois mort (tC/ha) pour les principaux types de peuplements par sylvoécorégion en métropole (Source : Citepa à partir des données IGN campagne 2016-2020 [594])**

L'ensemble des stocks à l'hectare, ainsi que les flux de gains (constitution du stock de bois mort) et pertes de chaque catégorie d'usage pour la métropole sont résumés dans le tableau suivant. Ils permettent d'alimenter le modèle de calcul de variation de stock à la maille. Les pertes sont calibrées pour perdre l'intégralité du bois mort en 1 an lors d'une conversion (défrichement). Pour les peuplements forestiers ou les catégories assimilées à la catégorie forêt mixtes, les gains sont fixés pour atteindre le stock de référence en 40 ans (par hypothèse).

**Tableau 249 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment bois mort (métropole)**

| Catégorie d'usage | Stock (tC/ha) | Gains (tC/ha/an) | Pertes (tC/ha/an) | Source de données |
|---|---|---|---|---|
| 21fc | 3 [0 ; 9] | 0,07 [0 ; 0,23] | 0 | IGN campagne 2016-2020 [594] |
| 21ff | 4 [1 ; 11] | 0,1 [0,02 ; 0,26] | 0 | |
| 21fm | 4 [0 ; 9] | 0,1 [0 ; 0,23] | 0 | |
| 21fp | 3 [3 ; 3] | 0,06 [0,06 ; 0,06] | 0 | |
| 12cp, 200, 210, 220, 22bq, 320, 32va | *Estimation : égal aux données de forêt mixte* | | | |
| Autres catégories | 0 | 0 | 50 | Par défaut |

Pour les catégories forestières, les valeurs moyennes sont indiquées, puis entre crochets la valeur minimale et la valeur maximale. Pour rappel, elles diffèrent par sylvo-écorégion.

***Litière [lt]***

*Définition*

La litière forestière est constituée : des branches mortes au sol de diamètre inférieur au seuil de recensabilité de l'IFN (donc exclues du réservoir bois mort) ; des couches humiques et fumiques et des feuilles mortes (exclues du réservoir sol) ; des petites racines (exclues du réservoir biomasse vivante souterraine).

*Données*

Les stocks ont été estimés à partir des valeurs Renecofor [1275]. Des valeurs de stock par hectare pour différents types d'essences sont proposés (une valeur unique pour les feuillus de 5,7 tC/ha, puis des valeurs de 6,1 à 25,4 tC/ha pour diverses essences de résineux).

**Tableau 250: Stocks de carbone dans les couches hologaniques (réseau de mesure Renecofor)**

| Essences | couches holorganiques (tC/ha) |
|---|---|
| chênes | 5,7 |
| hêtre | 5,7 |
| épicéa commun | 16,1 |
| sapin pectiné | 7,3 |
| douglas | 10,7 |
| pins | 25,4 |
| mélèze d'Europe | 6,1 |

A partir des surfaces de chaque type d'essence par grande région écologique (GRECO) de l'IGN, et de ces valeurs de stocks par essences, un stock typique par GRECO est proposé pour les catégories d'usage forêt feuillus (21ff), forêt mixte (21fm) et forêt de résineux (21fc) (cf. carte ci-dessous).

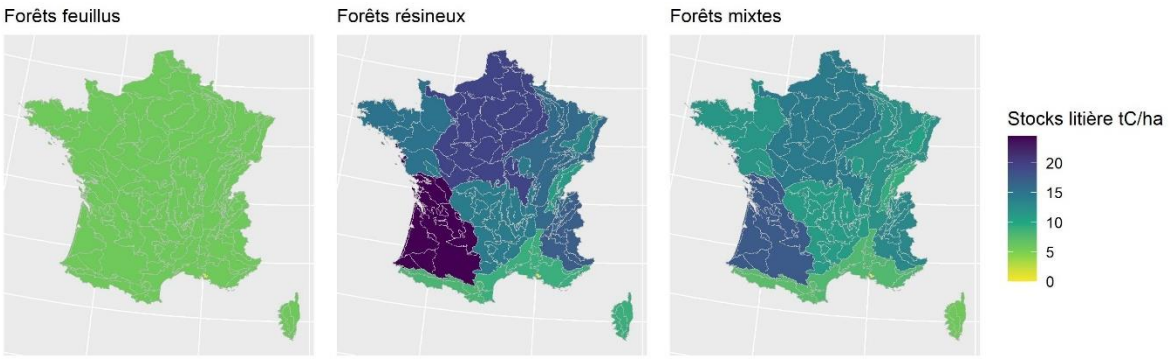



**Figure 189 : Stocks litière (tC/ha) pour les principaux types de peuplements par sylvoécorégion (Source : stocks par essence Renecofor [1275] et surfaces par type d'essence IGN campagne 2018-2022 [594])**

Dans les cas où il y a une absence de données statistiquement significatives pour les surfaces par type d'essence, une donnée de stock moyen est utilisée. Elle est issue de l'étude Dupouey et al. (1999) [206], « *le stock total des sols forestiers est de* (…) *79 tC/ha*. […]. *La litière comprend 11 % de ce stock* […] », soit une valeur de 9 tC/ha.

| |
|---|
| 79 tC/ha * 11% = 8,7 tC/ha ≈ 9 tC/ha. |

En Guyane, le stock de litière est estimé par l'ONF [328, p.22] d'après les travaux de Puig et al. (1988) [997] à 2 tC/ha.

| |
|---|
| 4,203 tMS/ha * 0,5tC/tMS = 2,1 tC/ha ≈ 2 tC/ha. |

Dans les autres territoires d'Outre-mer, le stock de litière est estimé de manière spécifique grâce aux études des données dendrométriques de l'ONF [386].

**Tableau 251 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la litière des terres forestières**

| Périmètre | Région | Feuillus | Mixte | Résineux | Peupliers | Source de données |
|---|---|---|---|---|---|---|
| France métropolitaine | | 5,7 | Variable selon GRECO (voir carte) | | 5,7 | [206], [1275] |
| Outre-mer inclus dans l'UE (5 régions) | Guyane | 2,0 | n.d | n.d | n.d | [328] |
| | Guadeloupe | 1,2 | n.d | n.d | n.d | [386] |
| | Martinique | 0,7 | n.d | n.d | n.d | [386] |
| | Réunion | 0,1 | n.d | n.d | n.d | [386] |
| | Mayotte | 0,9 | n.d | n.d | n.d | [386] |
| Autres territoires | | n.d | n.d | n.d | n.d | |

n.d : non déterminé

Les stocks à l'hectare, ainsi que les flux de gains (constitution du stock de litière) et pertes de chaque catégorie d'usage pour la métropole sont résumés dans le tableau suivant. Ils permettent d'alimenter le modèle de calcul de variation de stock à la maille. Les pertes sont calibrées pour perdre l'intégralité de la litière en 1 an lors d'une conversion (défrichement). Pour les peuplements forestiers ou les catégories assimilées à la catégorie forêt mixtes, les gains sont fixés pour atteindre le stock de référence en 20 ans.

**Tableau 252 : Stocks et flux de carbone relatifs au compartiment litière (métropole)**

| Catégorie d'usage | Stock (tC/ha) | Gains (tC/ha/an) | Pertes (tC/ha/an) | Source de données |
|---|---|---|---|---|
| Forêts feuillus (21ff) | 5,7 | 0,3 | 0 | Renecofor [1275] |
| Peupleraies (21fp) | 5,7 | 0,3 | 0 | Par défaut |
| Forêt résineux (21fc) | 14,3<br>[8,1 ; 24,5] | 0,7<br>[0,4 ; 1,2] | 0 | Renecofor modulé par surfaces de peuplement par GRECO [1275] |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Forêts mixtes et catégories assimilées (21fm, 12cp, 200, 210, 220, 22bq, 320, 32ba) | 11 [5,7 ; 17,6] | 0,5 [0,3 ; 0,9] | 0 | Renecofor modulé par surfaces de peuplement par GRECO [1275] |
| Autres catégories | 0 | 0 | 10 | Par défaut |

Pour les catégories forestières, les valeurs moyennes sont indiquées, puis entre crochets la valeur minimale et la valeur maximale. Pour rappel, elles diffèrent par GRECO (grande région écologique).

***Carbone du sol [s_min] [s_org]***

*Définition*

Ce réservoir est constitué du carbone organique dans l'horizon 0-30 cm des sols. Le GIEC [672] distingue deux grands types de sols : minéraux et organiques. En France, les sols minéraux constituent la très grande majorité des sols, ce qui explique en partie l'absence d'estimations spécifiques des émissions liées aux changements d'usages sur sols organiques. . Cependant, des estimations sont réalisées pour les émissions associées au drainage des sols organiques (histosols) cultivés ainsi que pour celles liées à l'extraction de tourbe. Ces estimations sont associées aux terres sans changements d'usages : cultures et prairies pour le drainage et zones humides pour l'extraction de tourbe.

Les méthodes et données mises en œuvre pour le carbone des sols sont détaillées dans les sections suivantes ainsi que dans les parties spécifiques à chaque catégorie de terres.

*Données*

*Mesure des stocks de carbone du sol (RMQS)*

La France bénéficie d'un réseau de mesures de la qualité des sols nommé Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS), construit à l'initiative du groupement d'intérêt scientifique Sol (GIS Sol), qui regroupe les ministères en charge de l'agriculture et de l'environnement, l'ADEME, le SDES et l'INRA. Le réseau RMQS repose sur le suivi de 2200 sites répartis uniformément sur le territoire français, selon une maille carrée de 16 km de côté. Des prélèvements d'échantillons de sols, des mesures et des observations sont effectués tous les dix à quinze ans au centre de chaque maille. L'ensemble des opérations réalisées sur un site est détaillé dans le Manuel RMQS. La première campagne de prélèvement en métropole s'est déroulée de 2000 à 2009. Dans le cadre de l'inventaire, les données de stock de carbone des sites RMQS, fournies par l'unité Infosol de l'INRA, ont pu être exploitées à différents niveaux [424].

*Carte des types de sol (BDGSF)*

La Base de Données Géographique des Sols de France (BDGSF [719]) au 1/1 000 000, fournie par l'Inra (Unité InfoSol d'Orléans) provient de la Base de Données Géographique des Sols d'Europe au 1/1 000 000, réalisée en plusieurs étapes (correction, numérisation, harmonisation, structuration) entre 1974 et 1998 (en partie par l'Inra, à partir de la typologie internationale des sols proposée par la FAO. Cette terminologie a été adaptée pour prendre en compte des spécificités européennes. Chaque type de sol identifié a été groupé au sein d'unités paysagère, dont la délimitation a fait appel à des jugements d'experts plutôt qu'à des mesures. Parmi les champs descriptifs des sols, on trouve la texture dominante. Cette information est utilisée dans l'inventaire comme critère de définition d'un zonage pédologique (voir § 1.2.5.3.3).

*Données sur les sols en Outre-mer*

En Outre-mer, des estimations spécifiques sur les stocks de carbone du sol sont disponibles grâce aux études de l'ONF, aussi utilisées pour la biomasse [328, 386].

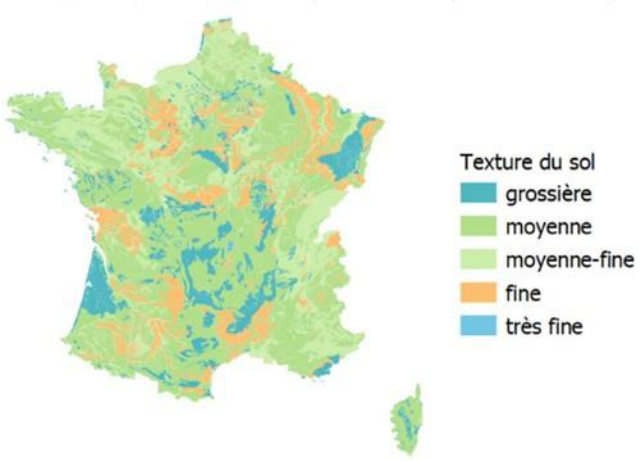



**Figure 190 : Cartographie des zones pédologiques (basée sur la texture des sols) complétée en métropole [719]**

*Carte des zones climatiques (JRC)*

Le JRC a réalisé une cartographie des zones climatiques [722] en Europe pour l'ensemble des Etats-membres de l'Union européenne, pour les aider à améliorer leur méthodologie des inventaires, selon la classification Giec (2006), en prenant en compte divers paramètres : température, précipitation, potentiel d'évapotranspiration, relief. La carte pour la France réalisée dans ce cadre a été simplifiée par le Citepa avec un critère surfacique de manière à supprimer les pixels ou groupes de pixels isolés. Ainsi, les zones « frais tempéré sec » et « polaire humide » (quelques pixels en haute montagne) ont été intégrées à des ensembles plus larges.

L'utilisation d'une carte des climats plus récente (Giec 2019) a été étudiée. Cependant, l'analyse des stocks de référence issu du RMQS (2000-2009) par zone pédoclimatique se basant sur la carte du Giec 2006, il n'a pas été jugé pertinent de mettre à jour ces zones pour l'instant.

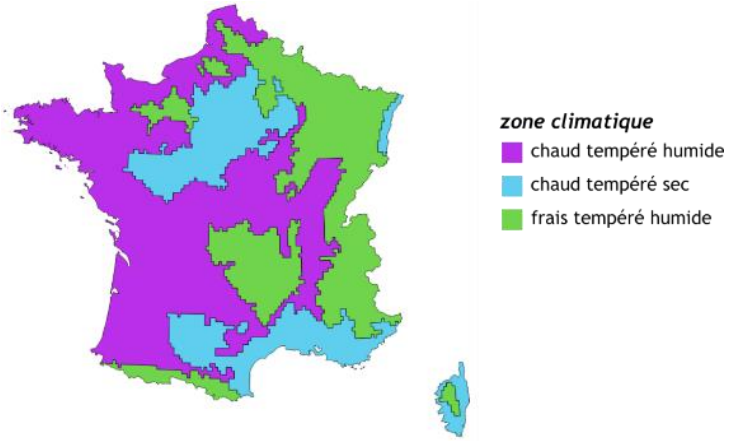



**Figure 191 : Cartographie des zones climatiques [722]**

*Méthode*

*Equation générale*

Pour estimer la variation de stock de carbone organique du sol pour les sols minéraux, une méthode de variation de stock par maille semblable à celle décrite pour tous les autres compartiments est utilisée. Cependant, le stock de référence de la maille est modulé non seulement par l'usage des terres, mais également par les pratiques culturales associées. Ce stock change donc annuellement, cette routine de calcul va donc créer des flux à la fois pour les terres restant dans la même catégorie d'utilisation (en prairies ou en cultures), que pour des terres changeant d'usage. La correction du stock de référence par des facteurs d'ajustement s'approche de la méthode générique du Giec [672]. En revanche, le mode de calcul s'effectue à la maille, et ne s'applique plus aux surfaces de conversion sur 20 ans. Les flux qui définissent la vitesse de transition d'une maille vers son stock de référence dans le modèle sont calibrés sur 20 ans, à l'exception de l'artificialisation des sols, pour laquelle la vitesse de dégradation du stock est calibrée sur 5 ans.

**Tableau 253 : Flux appliqués aux différentes catégories d'usage dans le modèle de variation par mailles**

| Catégorie d'usage | Gains (tC/ha/an) | Pertes (tc/ha/an) |
|---|---|---|
| Tous les sols agricoles et forestiers | 1,22 | 1,22 |
| Sols artificiels non végétalisés (300, 310, 31ba, 31bn) | 1,50 | 9,72 |
| 41tb et 41zh | 3,09 | 0,00 |
| Autres zones humides et autres terres (400, 410, 420, 41ea, 41in, 42gl, 42sn) | 0 | 3,16 |

**Équation 4 (UTCATF)**
**inspirée de l'équation 2.25 du Giec 2006 [672])**

$$\Delta C_{Mineraux} = COS_n - COS_{(n-1)}$$

$$COS = COS_{REF} \times F_{UT} \times F_{RG} \times F_A$$

Avec :

*Stocks de carbone de référence ($COS_{REF}$)*

Les stocks de carbone du sol de référence ($COS_{REF}$) correspondent aux stocks de carbone natifs, sous végétation indigène. Afin de conserver les facteurs de variation de stock liés à l'utilisation des terres égaux à 1 (Giec 2019) pour les usages forêts

et prairies, le stock de référence est déterminé à partir des stocks RMQS en prairie et en forêt pour chaque zone pédoclimatique. Les $COS_{REF}$ utilisés correspondent donc à la moyenne des stocks médians observés sous forêt et sous prairies, pondérés par le nombre de relevés RMQS dans chacune des catégories [424] pour la métropole. Pour l'Outre-Mer, des valeurs données par l'ONF sont utilisées [328, 386].

**Méthode de construction des zones pédoclimatiques par le Citepa**

Ces zones pédoclimatiques ont été définies selon les principes du GIEC [672], en croisant :

- la cartographie des types de sols [719] distinguant 5 niveaux de texture (1 = grossière ; 2 = moyenne ; 3 = moyenne fine ; 4 = fine ; 5 = très fine) (§1.2.5.2.2)
- la cartographie des zones climatiques [722] distinguant 3 types de climats (1 = chaud tempéré humide ; 2 = chaud tempéré sec ; 3 = frais tempéré humide) (§1.2.5.2.3)

En croisant ces trois cartes, une cartographie avec 15 zones pédoclimatiques, redécoupées par région administrative, a donc été construite :

**Figure 192 : Cartographie des zones pédoclimatiques**

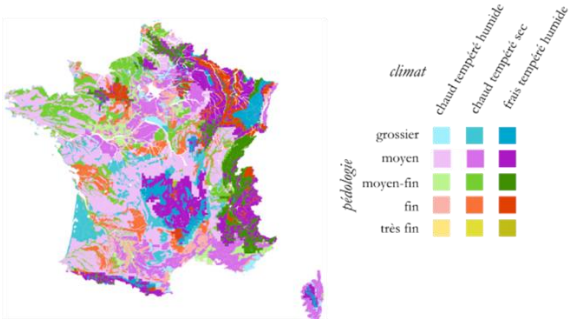



**Tableau 254 : Stocks de carbone de référence pour les sols par région ou zone pédoclimatique**

| Périmètre | Région ou zone pédoclimatique | Stock tC/ha | Pédologie (texture) | Climat | Source |
|---|---|---|---|---|---|
| France métropolitaine (22 régions) | 1_1 | 70,5 | grossière | chaud tempéré humide | Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) [424] |
| | 1_2 | 47,6 | grossière | chaud tempéré sec | |
| | 1_3 | 86,5 | grossière | frais tempéré humide | |
| | 2_1 | 65,2 | moyenne | chaud tempéré humide | |
| | 2_2 | 72,5 | moyenne | chaud tempéré sec | |
| | 2_3 | 84,8 | moyenne | frais tempéré humide | |
| | 3_1 | 71,5 | moyenne-fine | chaud tempéré humide | |
| | 3_2 | 58,8 | moyenne-fine | chaud tempéré sec | |
| | 3_3 | 94,8 | moyenne-fine | frais tempéré humide | |
| | 4_1 | 83,5 | fine | chaud tempéré humide | |
| | 4_2 | 64,0 | fine | chaud tempéré sec | |
| | 4_3 | 84,5 | fine | frais tempéré humide | |
| Outre-mer inclus dans l'UE (5 régions) | Guyane | 100 | | | [328] |
| | Guadeloupe | 14,6 | | | [386] |
| | Martinique | 14,3 | | | [386] |
| | Réunion | 1,6 | | | [386] |
| | Mayotte | 63,6 | | | [386] |
| Autres territoires | | Non estimé | | | |

Pour les zones humides, le RMQS donne la valeur de 125 tC/ha mais sans détail par zones pédoclimatique à cause du faible nombre de relevés. Cette valeur sera utilisée pour toutes les zones humides, sans appliquer de facteur de variation $F_{UT}$. Pour les zones artificialisées et les « autres terres », le RMQS ne dispose pas de mesures représentatives. Pour les sols urbains (sols nus et revêtus, enherbés, arborés), des valeurs spécifiques de stock de carbone issues de la littérature scientifique sont utilisées [721]. Aucun stock spécifique n'est pris en compte pour les « autres terres » (roches, sable, etc.).

*Facteur de variation de stock lié à l'utilisation des terres (FUT)*

Le paramètre $F_{UT}$ est issu du raffinement 2019 du Giec [1229], et varie selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille. Les forêts et les prairies ont un facteur égal à 1. Les types d'usages corrigés sont les cultures annuelles, les cultures pérennes et les jachères. Pour rappel, les stocks de zones humides, zones artificielles et autres terres sont donnés directement (voir partie précédente), et n'applique pas d'ajustement par les facteurs $F_{UT}$, $F_{Rg}$ et $F_A$.

**Tableau 255 : Facteurs d'ajustement liés à l'utilisation des terres par type d'usage et zone climatique (Giec 2019)**

| Type de facteur | Descriptif | Zone climatique | Facteur | Erreur |
|---|---|---|---|---|
| $F_{UT}$ | cultures annuelles | chaud tempéré humide | 0,69 | 16% |
| | | chaud tempéré sec | 0,76 | 12% |
| | | frais tempéré humide | 0,7 | 12% |
| | cultures pérennes | chaud tempéré humide | 0,72 | 22% |
| | | chaud tempéré sec | 0,72 | 22% |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | frais tempéré humide | 0,72 | 22% |
| | jachères | chaud tempéré humide | 0,82 | 17% |
| | | chaud tempéré sec | 0,93 | 11% |
| | | frais tempéré humide | 0,82 | 17% |
| | prairie | chaud tempéré humide | 1 | |
| | | chaud tempéré sec | 1 | |
| | | frais tempéré humide | 1 | |

### *Facteurs de variation liés à la gestion (FRG) et aux apports (FA)*

Les données de pratiques culturales qui déterminent le régime et gestion et les apports sont détaillés dans les parties relatives aux cultures et aux prairies.

Les paramètres $F_{RG}$ et $F_A$ sont issus du raffinement 2019 du Giec [1229], et varient selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille.

**Tableau 256: Facteurs d'ajustement liés au régime de gestion et aux apports par zone climatique (Giec 2019)**

| Type de facteur | Descriptif | Zone climatique | Facteur | Erreur |
|---|---|---|---|---|
| $F_{Rg}$ | Labour (avec retournement du sol) | chaud tempéré humide | 1 | |
| | | chaud tempéré sec | 1 | |
| | | frais tempéré humide | 1 | |
| | TCS (travail profond sans retournement, travail superficiel) | chaud tempéré humide | 1,05 | 4% |
| | | chaud tempéré sec | 0,99 | 3% |
| | | frais tempéré humide | 1,04 | 4% |
| | Semis direct | chaud tempéré humide | 1,1 | 4% |
| | | chaud tempéré sec | 1,04 | 3% |
| | | frais tempéré humide | 1,09 | 4% |
| | Prairies non dégradées | chaud tempéré humide | 1 | |
| | | chaud tempéré sec | 1 | |
| | | frais tempéré humide | 1 | |
| | Prairies surpâturées | chaud tempéré humide | 0,9 | 8% |
| | | chaud tempéré sec | 0,9 | 8% |
| | | frais tempéré humide | 0,9 | 8% |
| | Prairies sévèrement dégradées | chaud tempéré humide | 0,7 | 40% |
| | | chaud tempéré sec | 0,7 | 40% |
| | | frais tempéré humide | 0,7 | 40% |
| | Prairies améliorées | chaud tempéré humide | 1,14 | 11% |
| | | chaud tempéré sec | 1,14 | 11% |
| | | frais tempéré humide | 1,14 | 11% |
| $F_A$ | Faibles | chaud tempéré humide | 0,92 | 14% |
| | | chaud tempéré sec | 0,95 | 13% |
| | | frais tempéré humide | 0,92 | 14% |
| | Moyens | chaud tempéré humide | 1 | |
| | | chaud tempéré sec | 1 | |
| | | frais tempéré humide | 1 | |
| | Elevés sans fumier | chaud tempéré humide | 1,11 | 10% |
| | | chaud tempéré sec | 1,04 | 13% |
| | | frais tempéré humide | 1,11 | 10% |
| | Elevés avec fumier | chaud tempéré humide | 1,44 | 13% |
| | | chaud tempéré sec | 1,37 | 12% |
| | | frais tempéré humide | 1,44 | 13% |
| | Prairies améliorées avec apports moyens | chaud tempéré humide | 1 | |
| | | chaud tempéré sec | 1 | |
| | | frais tempéré humide | 1 | |
| | Prairies améliorées avec apports élevés | chaud tempéré humide | 1,11 | 7% |
| | | chaud tempéré sec | 1,11 | 7% |
| | | frais tempéré humide | 1,11 | 7% |

*Estimation des émissions de $CO_2$ et $N_2O$ liées aux variations de stock de carbone des sols minéraux*

*En Métropole*

Les variations de stock de carbone du sol sont estimés dans la routine du *modèle de variation de stock par maille* en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) et en fonction des changements de pratiques. Les pertes de carbone entrainent des émissions de $CO_2$ et de $N_2O$. Pour le $CO_2$, la conversion du flux de C en $CO_2$ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12). Pour les émissions de $N_2O$ liée à la minéralisation de l'azote, les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du Giec 2006 [672].

*En Outre-mer inclus dans l'UE*

Les variations de stock de carbone du sol en Outre-Mer sont estimées par différentiel de stock entre la catégorie finale et la catégorie initiale sur la base des matrices de changements d'utilisation des terres. Les stocks par catégorie de terres et par territoire sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 257 : Stocks de référence des sols dans les territoires d'Outre-mer.**

| tC/ha | Forêt | Prairie | Cultures | Autres | Source |
|---|---|---|---|---|---|
| **Guadeloupe** | 14,6 | 14,6 | 14,6 | 0 | [386] |
| Guyane | 100 | 60 | 60 | 0 | [328] |
| La Réunion | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 0 | [386] |
| Martinique | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 0 | [386] |
| Mayotte | 63,6 | 63,6 | 30,5 | 0 | [386] |
| Saint Martin | 14,6 | 14,6 | 14,6 | 0 | [672] |
| **Clipperton** | 14,6 | 14,6 | 14,6 | 0 | [672] |
| Nouvelle Calédonie | 0 | 0 | 0 | 0 | hypothèse provisoire |
| Polynésie Française | 14,6 | 14,6 | 14,6 | 0 | [672] |
| Saint Barthélemy | 14,6 | 14,6 | 14,6 | 0 | [672] |
| Saint Pierre et Miquelon | 14,6 | 14,6 | 14,6 | 0 | [672] |
| TAAF | 14,6 | 14,6 | 14,6 | 0 | [672] |
| Wallis et Futuna | 14,6 | 14,6 | 14,6 | 0 | [672] |

*Méthode de calcul pour les sols organiques drainés*

Les émissions liées au drainage des sols organiques sont estimées en culture et en prairie sur la base du Giec 2013 [923] avec des facteurs d'émissions différents pour la métropole et l'Outre-mer du fait des différences de climat.

**Tableau 258 : Paramètres de calcul pour les sols organiques (histosols) drainés.**

| | Métropole | | Outre-Mer | |
|---|---|---|---|---|
| | Culture | Prairie | Culture | Prairie |
| FE CO2 direct | 7,9 tC-CO2/ha/an | 3,6 tC-CO2/ha/an | 14 tC-CO2/ha/an | 9,6 tC-CO2/ha/an |
| FE CO2 indirect | 0,3 tC-CO2/ha/an (0.21*0,6*0.9) | | 0,8 tC-CO2/ha/an (0.57*0,6*0.9) | |
| FE CH4 | 0 kgCH4/ha/an | 39 kgCH4/ha/an | 7 kgCH4/ha/an | 7 kgCH4/ha/an |
| *Surfaces* | 5 883 ha | 16 416 ha | 88 ha | 230 ha |

*Sources : GIEC 2013, tables 2.1, 2.2, 2.3. Note : le N2O est rapporté en agriculture*

## 6.3.2 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2022, voici les réponses qui ont été apportées pour la section générique UTCATF et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| Sector / CRF category / issue | Review recommendation | Review report/ paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| **LULUCF**<br>Land representation – CO2 and N2O (L.7, 2021), (L.12, 2019) (L.33, 2017) Accuracy | Identify land representation of croplands accurately in order to report emissions/removals taking into account the 20-years transition period for land conversions. In doing so, depending on available resources, consider (1) improving the spreadsheets for allocation of the known total organic soils area across all relevant land-use subcategories; or (2) linking land use and soils by implementing approach 3 for land representation provided in the 2006 IPCC Guidelines through enhanced use of TERUTI-LUCAS (http://agreste.agriculture.gouv.fr/enq uetes/territoire-prix-des-terres/teruti- lucas-utilisation-du/) spatial features (e.g. either rely on TERUTI- LUCAS soil information or match its spatial grid with (organic) soils map and derive grid plots where organic soils occur, then improve the land-use conversion matrix with this information).<br>Not resolved. The Party indicated in the NIR (p.626) that this issue has not yet been addressed. However, during the review, the Party also indicated that the new land-use monitoring approach to be implemented for the 2023 annual submission will allow direct linking between land use and soil information through enhanced use of spatial features from the TERUTI-LUCAS survey. | 2022 Review ARR / L.4 | Partially implemented. The new land-use monitoring approach has been implemented, it allows a direct linking between land use areas and information on soils. For the 2025 edition, a new map was used to identify the organic soils, and it was crossed with the land use products to better specify the drained areas, and avoid double accountings. However, the work is still ongoing to have a better reporting of activity data of organic soils when conversions occur. |

Suite à la revue de l'UE de 2024, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| CRT category / issue | Review recommendation, technical correction or revised estimate | Review report / paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| FR-4-2024-0002 | Ongoing improvement plan for the reporting of dead wood carbon pool. Thank you for your reply. Issue closed as partially resolved. It will be followed up next year. | EMRT UE review plateform | Implemented. In the frame of the UE LULUCF regulation, an improved methodology has been used for the dead wood carbon pool for the 2025 submission |

## 6.3.3 Améliorations envisagées

L'UTCATF est un secteur complexe et beaucoup d'améliorations sont encore envisageables pour augmenter la précision des estimations.

*Suivi des terres en métropole*

Les différents modules d'estimation des surfaces annuelles de changement d'utilisation des terres de l'approche spatialement explicite pourraient encore être améliorés : affinement du module de détection des boisements et déboisements ; affinement du module de reconstitution des dynamiques intra-agricoles, etc.

*Améliorations estimations carbone des sols*

Des travaux sont prévus pour continuer à affiner l'estimation des variations de stocks de carbone dans les sols minéraux.. La possibilité de suivre le compartiment sol en forêt est étudié, ainsi que des améliorations sur les flux de carbone des sols en prairies liés aux pratiques de gestion.

*Amélioration suivi des produits bois*

Une amélioration des flux dans les produits bois est envisagée, cela pourra passer par l'amélioration de certains paramètres de calcul, le mode d'exploitation des données d'entrée, ou la possible prise en compte de l'évolution des durées de vie des produits au cours de la série temporelle. Ce travail est en cours mais s'achemine sur plusieurs années.

*Suivi des surfaces de cultures en Outre-mer*

En Outre-Mer, seules les 6 catégories d'usage du Giec sont appliquées et non les 16 sous-catégories utilisées en Métropole. Il n'est ainsi pas possible d'estimer les flux de biomasse liés aux cultures pérennes avec ces données. Des travaux complémentaires sont toujours en cours pour pouvoir distinguer les cultures annuelles et pérennes en Outre-mer, et de façon plus globale se rapproche du modèle développé pour la métropole.

*Clarification de l'estimation des sols organiques*

L'identification des sols organiques et l'estimation des flux de carbone associés pourrait être améliorée. En identifiant de façon restreinte les sols organiques (périmètre plus petit que toutes les « zones humides » au sens du Giec et que les zones avec histosols), par exemple en se concentrant sur les tourbières, la distinction entre sols organiques et minéraux serait clarifiée. Ce travail a commencé mais d'autres améliorations sont prévues, certaines zones seront mieux couvertes par les données sources, et le traitement des changements d'usage sera amélioré.

## 6.3.4 Incertitudes

***Incertitudes des données sources issues de l'inventaire forestier***

L'incertitude liée à l'échantillonnage des données sources de l'IFN : production brute, mortalité et prélèvements est indiquée par le site de l'IGN [594]. Des détails méthodologiques sur l'échantillonnage et les paramètres de calcul de l'IGN sont fournis par Hervé et al. 2014 ; 2016 [1027, 1028].

Ainsi, l'écart-type de la **production brute** reflète uniquement l'intervalle de confiance statistique lié à l'échantillonnage. Il ne reflète pas d'autres sources d'incertitudes : variabilité interannuelle des estimations, instruments de mesures, erreurs de mesures, incertitude des paramètres utilisés dans les équations allométriques permettant d'extrapoler les valeurs mesurées et en déduire des volumes d'arbres complets et des tonnes de carbone. Afin de refléter ces éléments, nous définissions une valeur d'incertitude globale sur la production de 5%.

Les figures ci-dessous présentent les intervalles de confiance des données sources fournies par l'IFN.

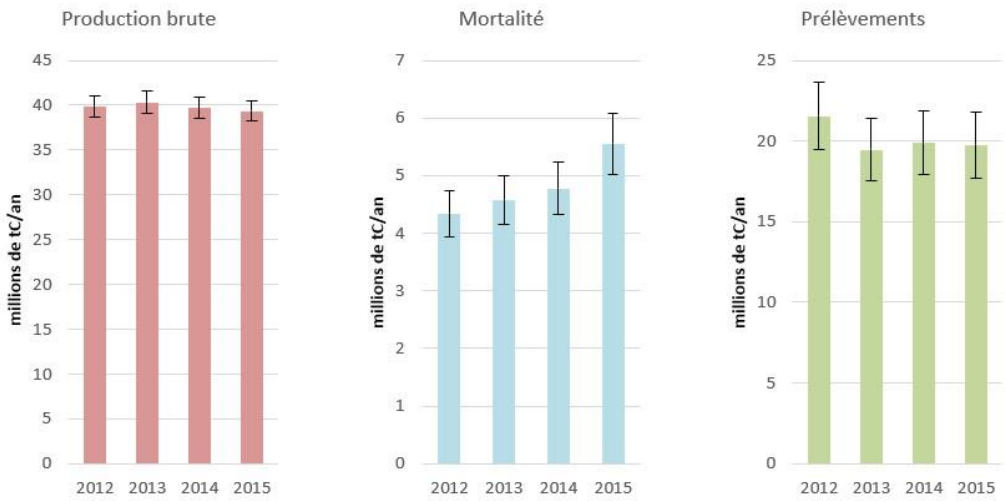



**Figure 193 : Incertitudes sur la biomasse forestière : exemples sur les années 2012-2015**

Pour les pertes (**mortalité et prélèvements**), la quantification de l'incertitude prend en compte le fait que l'inventaire utilise concomitamment deux sources, les statistiques de prélèvements rebouclées sur le prélèvement global de l'IFN. Une incertitude double est alors estimée : 10% pour l'IFN et 6% pour les statistiques de prélèvements retraitées. La valeur de 10% est retenue pour les pertes.

Ces valeurs pour la biomasse forestière sont complétées par des estimations de l'incertitude sur les autres réservoirs et les autres terres pour estimer l'incertitude secteur UTCATF.

***Incertitudes globales du secteur UTCATF***

L'incertitude du secteur UTCATF est estimée via une approche Monte-Carlo à hauteur de 30%.

La présentation par activité et facteur d'émission n'est pas totalement pertinente au regard du secteur, car la méthode de calcul est plus complexe que la seule multiplication d'une donnée d'activité et d'un facteur d'émission. Néanmoins, à des fins de transparence, une désagrégation de niveau 3 puis 2 de l'incertitude UTCATF est présentée ci-dessous.

**Tableau 259 : Incertitudes en UTCATF**

| | Incertitude de l'activité | Incertitude des facteurs d'émission |
|---|---|---|
| Forêt > Forêt | 5% | 17% |
| Terres > Forêt | 10% | 50% |
| Prairie > Prairie | 5% | 100% |
| Terres > Prairie | 10% | 50% |
| Cultures > Cultures | 5% | 100% |
| Terres > Cultures | 10% | 40% |
| Artificiel > Artificiel | 5% | 100% |
| Terres > Artificiel | 10% | 30% |
| Zones humides > Zones humides | 5% | 100% |
| Terres > Zones humides | 40% | 60% |
| Autres > Autres | 20% | 100% |
| Terres > Autres | 50% | 70% |

| | Incertitude de l'activité | Incertitude des facteurs d'émission |
|---|---|---|
| Forêt | 5% | 23% |
| Prairie | 10% | 50% |
| Culture | 10% | 40% |
| Artificiel | 10% | 30% |
| Zones humides | 40% | 60% |
| Autres terres | 20% | 80% |

## 6.3.5 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Les statistiques recueillies entrent dans le champ de l'assurance qualité de l'organisme émetteur. Le CITEPA effectue également des vérifications internes sur la cohérence des séries dans le temps.

Le schéma suivant présente les relations entre les différentes entités du groupe de travail UTCATF, principal acteur de l'élaboration et désormais de l'amélioration des méthodologies de calculs mises en place pour l'UTCATF. Ce groupe dédié à l'UTCATF est un sous-groupe créé par le GCIIE (cf section 1.2 pour plus d'informations sur le rôle du GCIIE).

En vue d'améliorer le contrôle sur le suivi de terres un outil de visualisation des changements d'utilisation et de comparaison avec des produits cartographiques a été créé. Cet outil pourra être mobilisé à l'avenir pour affiner la précision des algorithmes en place.

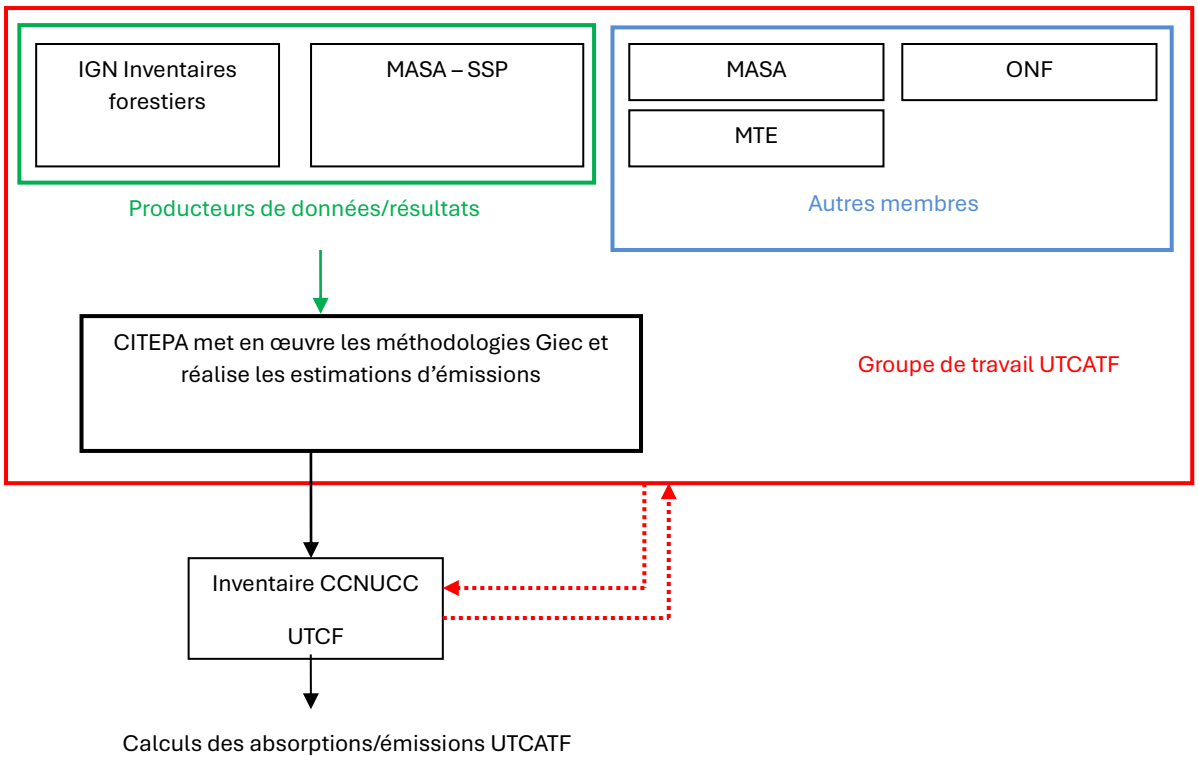



**Figure 194 : Parties prenantes impliquées dans le processus d'élaboration de l'inventaire UTCATF**

*Vérification des estimations nationales pour les stocks de carbone dans le sol*

Les valeurs spécifiques au pays utilisées ici (tier 2) n'ont pas encore été comparées aux valeurs par défaut du Giec (tier 1). La qualité et la représentativité des stocks obtenus à partir du RMQS sont des garanties que cette donnée est plus adaptée à la France que des données par défaut. La méthode appliquée correspond aux lignes directrices du Giec. La vérification des résultats par comparaison avec des données externes, comme par exemple la carte de Meersmans, et al. (2012 [998]) est envisagée.

# 6.4 Forêts (CRT 4A)

## 6.4.1 Caractéristiques de la catégorie

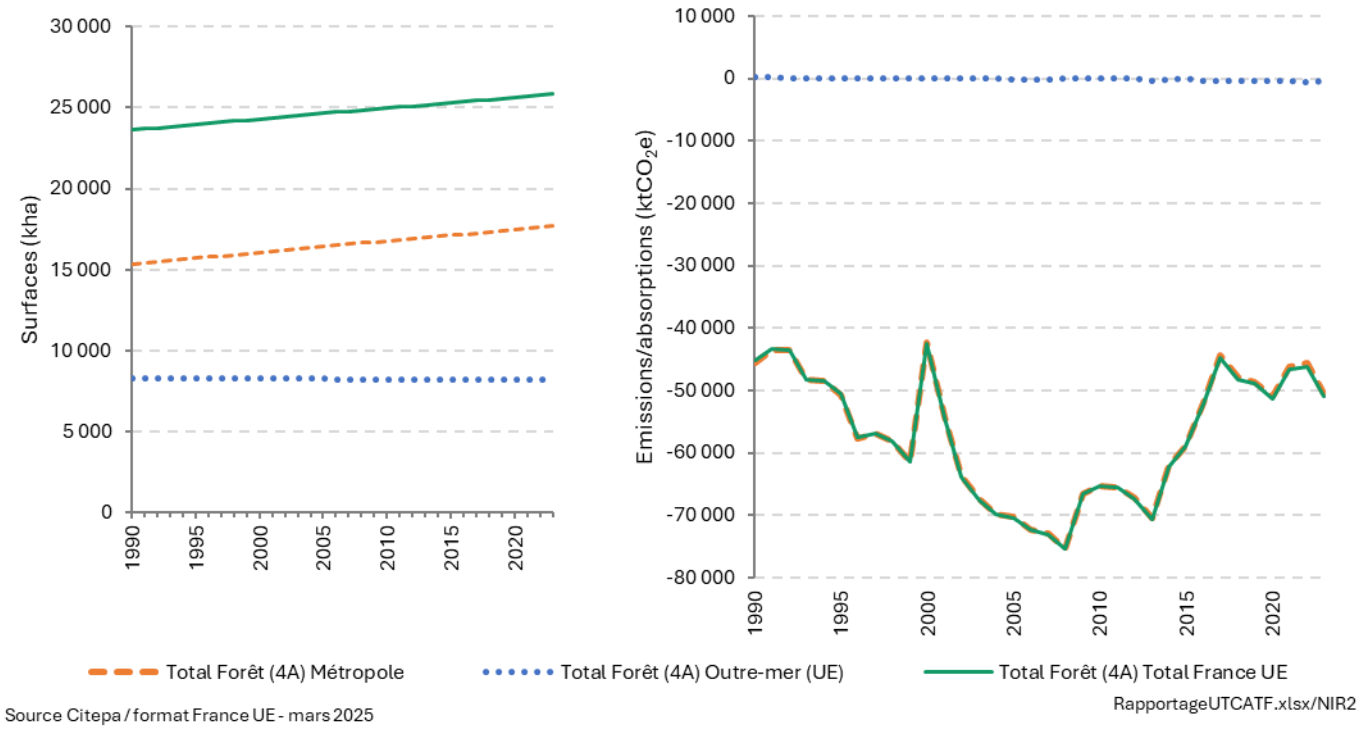
*Généralités*

La forêt constitue la plus grande partie du bilan de l'UTCATF. La superficie forestière en 2023 est estimée à un peu plus de 25.9 millions d'hectares en France dont plus de 8 millions en Guyane française. L'ensemble de cette forêt est désormais considéré géré mais seule la partie métropolitaine bénéficie d'un suivi forestier permettant une estimation précise, la majorité de la forêt guyanaise n'étant impactée que par de très faibles interventions humaines.

Le puits forestier a connu une augmentation importante au cours des années 1990 à 2000 (avec une baisse ponctuelle après la tempête de 1999), du fait des évolutions combinées de la séquestration et des prélèvements. Cette tendance s'explique par une surface forestière à la hausse depuis 1990, les défrichements estimés dans l'inventaire étant en partie compensés par les superficies nouvellement boisées. Sur ces terres forestières, l'accroissement ligneux est actuellement supérieur à la mortalité et à l'exploitation de la ressource forestière à des fins bois d'œuvre, de trituration et d'usages énergétiques. Il est important de noter que la récolte forestière a augmenté ponctuellement les années suivant les épisodes des tempêtes en 1999, et dans une moindre mesure en 2009 et que tous les réservoirs de carbone sont fortement impactés par ces perturbations.

Depuis 2008 et surtout depuis 2013, ce puits a connu une forte régression, surtout du fait d'une hausse de la mortalité des arbres par l'effet de sécheresses, d'épisodes sanitaires, d'un ralentissement de la croissance et d'une hausse des prélèvements.

**Figure 195 : Surfaces et Emissions / Absorptions en forêt**




Source Citepa / format France UE - mars 2025

RapportageUTCATF.xlsx/NIR2

### Tableau 260 : Surfaces en forêt (en milliers d'ha)

| | Surfaces (kha) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Forêt (CRT 4A) | | | Forêt restant Forêt (CRT 4A1) | | | Terres devenant Forêt (CRT 4A2) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | 15 327 | 8 297 | 23 624 | 13 212 | 8 290 | 21 502 | 2 115 | 7 | 2 122 |
| 1991 | 15 400 | 8 292 | 23 692 | 13 285 | 8 285 | 21 569 | 2 115 | 8 | 2 122 |
| 1992 | 15 472 | 8 288 | 23 760 | 13 357 | 8 279 | 21 637 | 2 115 | 9 | 2 123 |
| 1993 | 15 545 | 8 283 | 23 828 | 13 430 | 8 274 | 21 704 | 2 115 | 10 | 2 125 |
| 1994 | 15 618 | 8 279 | 23 897 | 13 503 | 8 268 | 21 771 | 2 115 | 11 | 2 126 |
| 1995 | 15 691 | 8 274 | 23 965 | 13 575 | 8 263 | 21 838 | 2 116 | 12 | 2 127 |
| 1996 | 15 764 | 8 270 | 24 034 | 13 647 | 8 257 | 21 904 | 2 117 | 13 | 2 129 |
| 1997 | 15 836 | 8 265 | 24 102 | 13 718 | 8 252 | 21 970 | 2 118 | 13 | 2 131 |
| 1998 | 15 909 | 8 261 | 24 170 | 13 790 | 8 246 | 22 036 | 2 120 | 14 | 2 134 |
| 1999 | 15 983 | 8 256 | 24 239 | 13 860 | 8 241 | 22 102 | 2 122 | 15 | 2 138 |
| 2000 | 16 056 | 8 252 | 24 308 | 13 931 | 8 236 | 22 167 | 2 125 | 16 | 2 141 |
| 2001 | 16 130 | 8 247 | 24 378 | 14 004 | 8 230 | 22 234 | 2 127 | 17 | 2 144 |
| 2002 | 16 205 | 8 243 | 24 448 | 14 077 | 8 225 | 22 301 | 2 128 | 18 | 2 146 |
| 2003 | 16 279 | 8 238 | 24 518 | 14 149 | 8 219 | 22 368 | 2 130 | 19 | 2 149 |
| 2004 | 16 354 | 8 234 | 24 588 | 14 221 | 8 214 | 22 435 | 2 133 | 20 | 2 153 |
| 2005 | 16 429 | 8 229 | 24 659 | 14 294 | 8 208 | 22 502 | 2 135 | 21 | 2 156 |
| 2006 | 16 504 | 8 225 | 24 729 | 14 366 | 8 203 | 22 569 | 2 138 | 22 | 2 160 |
| 2007 | 16 572 | 8 220 | 24 793 | 14 427 | 8 198 | 22 624 | 2 145 | 23 | 2 168 |
| 2008 | 16 640 | 8 216 | 24 856 | 14 488 | 8 192 | 22 680 | 2 153 | 24 | 2 177 |
| 2009 | 16 708 | 8 213 | 24 921 | 14 548 | 8 188 | 22 735 | 2 160 | 25 | 2 186 |
| 2010 | 16 775 | 8 210 | 24 985 | 14 609 | 8 183 | 22 792 | 2 166 | 27 | 2 193 |
| 2011 | 16 841 | 8 207 | 25 048 | 14 670 | 8 179 | 22 849 | 2 171 | 28 | 2 199 |
| 2012 | 16 908 | 8 204 | 25 111 | 14 731 | 8 174 | 22 906 | 2 176 | 29 | 2 206 |
| 2013 | 16 975 | 8 201 | 25 176 | 14 797 | 8 170 | 22 967 | 2 179 | 31 | 2 209 |
| 2014 | 17 043 | 8 198 | 25 241 | 14 863 | 8 166 | 23 028 | 2 181 | 32 | 2 213 |
| 2015 | 17 112 | 8 195 | 25 306 | 14 929 | 8 161 | 23 090 | 2 183 | 34 | 2 216 |
| 2016 | 17 180 | 8 192 | 25 372 | 14 996 | 8 157 | 23 153 | 2 184 | 35 | 2 219 |
| 2017 | 17 249 | 8 189 | 25 438 | 15 064 | 8 153 | 23 217 | 2 185 | 36 | 2 222 |
| 2018 | 17 319 | 8 187 | 25 506 | 15 133 | 8 149 | 23 282 | 2 186 | 38 | 2 223 |
| 2019 | 17 393 | 8 184 | 25 577 | 15 213 | 8 145 | 23 357 | 2 180 | 39 | 2 219 |
| 2020 | 17 466 | 8 181 | 25 647 | 15 292 | 8 141 | 23 433 | 2 174 | 41 | 2 215 |
| 2021 | 17 540 | 8 179 | 25 718 | 15 371 | 8 136 | 23 507 | 2 169 | 42 | 2 211 |
| 2022 | 17 614 | 8 176 | 25 789 | 15 449 | 8 132 | 23 582 | 2 164 | 44 | 2 208 |
| 2023 | 17 687 | 8 173 | 25 860 | 15 528 | 8 128 | 23 657 | 2 159 | 45 | 2 204 |

### Tableau 261 : Emissions / Absorptions en forêt (en $ktCO_2e$)

| | Emissions / Absorptions ($ktCO_2e$) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Forêt (CRT 4A) | | | Forêt restant Forêt (CRT 4A1) | | | Terres devenant Forêt (CRT 4A2) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | -45 558 | 298 | -45 259 | -24 773 | 328 | -24 445 | -20 785 | -29 | -20 814 |
| 1991 | -43 527 | 274 | -43 253 | -23 037 | 316 | -22 721 | -20 490 | -42 | -20 532 |
| 1992 | -43 652 | 100 | -43 552 | -23 404 | 150 | -23 254 | -20 248 | -49 | -20 298 |
| 1993 | -48 199 | -23 | -48 222 | -28 192 | 33 | -28 159 | -20 007 | -57 | -20 064 |
| 1994 | -48 525 | -4 | -48 529 | -28 766 | 60 | -28 706 | -19 759 | -64 | -19 823 |
| 1995 | -50 649 | 62 | -50 587 | -31 135 | 133 | -31 001 | -19 514 | -72 | -19 585 |
| 1996 | -57 648 | 70 | -57 578 | -38 404 | 149 | -38 255 | -19 244 | -79 | -19 323 |
| 1997 | -56 886 | 15 | -56 870 | -37 889 | 102 | -37 787 | -18 997 | -86 | -19 083 |
| 1998 | -58 188 | 42 | -58 146 | -39 458 | 136 | -39 323 | -18 730 | -94 | -18 823 |
| 1999 | -61 372 | 26 | -61 346 | -42 902 | 127 | -42 775 | -18 471 | -101 | -18 572 |
| 2000 | -42 420 | -76 | -42 495 | -24 226 | 33 | -24 194 | -18 193 | -108 | -18 302 |
| 2001 | -54 311 | -78 | -54 389 | -36 433 | 38 | -36 395 | -17 878 | -116 | -17 993 |
| 2002 | -63 754 | -89 | -63 843 | -46 190 | 34 | -46 156 | -17 564 | -123 | -17 687 |
| 2003 | -67 468 | -66 | -67 534 | -50 213 | 65 | -50 148 | -17 255 | -130 | -17 386 |
| 2004 | -69 872 | -64 | -69 936 | -52 933 | 74 | -52 859 | -16 940 | -138 | -17 077 |
| 2005 | -70 330 | -100 | -70 430 | -53 705 | 46 | -53 659 | -16 625 | -145 | -16 770 |
| 2006 | -72 227 | -139 | -72 366 | -55 922 | 13 | -55 909 | -16 305 | -152 | -16 457 |
| 2007 | -72 942 | -159 | -73 101 | -56 943 | 1 | -56 942 | -15 999 | -160 | -16 159 |
| 2008 | -75 304 | -93 | -75 398 | -59 639 | 74 | -59 565 | -15 666 | -167 | -15 833 |
| 2009 | -66 526 | -62 | -66 589 | -51 190 | 122 | -51 068 | -15 337 | -184 | -15 521 |
| 2010 | -65 336 | -91 | -65 428 | -50 240 | 110 | -50 130 | -15 096 | -202 | -15 297 |
| 2011 | -65 450 | -11 | -65 460 | -50 317 | 208 | -50 109 | -15 132 | -219 | -15 351 |
| 2012 | -67 274 | -48 | -67 322 | -52 205 | 188 | -52 017 | -15 069 | -236 | -15 305 |
| 2013 | -70 377 | -310 | -70 686 | -55 334 | -56 | -55 391 | -15 042 | -253 | -15 295 |
| 2014 | -62 037 | -151 | -62 188 | -47 131 | 119 | -47 012 | -14 906 | -270 | -15 176 |
| 2015 | -58 869 | -88 | -58 957 | -44 203 | 199 | -44 003 | -14 666 | -288 | -14 954 |
| 2016 | -51 903 | -326 | -52 229 | -37 202 | -22 | -37 224 | -14 700 | -305 | -15 005 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | -44 355 | -432 | -44 787 | -29 740 | -111 | -29 850 | -14 615 | -322 | -14 937 |
| 2018 | -47 846 | -442 | -48 288 | -33 111 | -103 | -33 215 | -14 734 | -339 | -15 073 |
| 2019 | -48 619 | -348 | -48 967 | -33 956 | 9 | -33 948 | -14 663 | -356 | -15 019 |
| 2020 | -50 937 | -377 | -51 313 | -36 352 | -3 | -36 355 | -14 585 | -374 | -14 958 |
| 2021 | -46 136 | -475 | -46 611 | -31 668 | -85 | -31 753 | -14 468 | -391 | -14 858 |
| 2022 | -45 655 | -645 | -46 300 | -31 143 | -237 | -31 380 | -14 512 | -408 | -14 920 |
| 2023 | -50 595 | -447 | -51 042 | -36 050 | -22 | -36 071 | -14 545 | -425 | -14 971 |

## 6.4.2 Méthode d'estimation des émissions

***Emissions de $CO_2$***

*Emissions de $CO_2$ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone*

Les variations de stock des différents compartiments carbone associées aux terres forestières changeant de sous-catégorie ou aux terres converties en terres forestières entrainent des flux de $CO_2$. Des flux de carbone complémentaires liés à la mortalité, l'accroissement ou aux récoltes sont aussi pris en compte. La conversion du flux de C en $CO_2$ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

*Emissions de $CO_2$ liées au brûlage*

Les émissions de $CO_2$ provenant des feux de forêts sont calculées directement à partir de l'estimation de la quantité de biomasse brulée. La conversion en $CO_2$ de la biomasse brulée est estimée grâce à une teneur moyenne de 0,5 tC/tMS.

***Emissions de $CH_4$***

*Emissions de $CH_4$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Les émissions liées au drainage ou à la remise en eau sont actuellement estimées dans l'inventaire français pour les sols organiques des cultures et de prairies uniquement et sont négligées en forêt.

*Emissions de $CH_4$ liées au brûlage*

Les émissions des feux de forêts sont estimées au moyen des facteurs d'émission de 4,7 kg/tMS (métropole) et de 6,8 kg/tMS (Outre-mer) tirés des lignes directrices du Giec 2006 [672].

***Emissions de $N_2O$***

*Emissions de $N_2O$ liées à la fertilisation (directes et indirectes)*

Les émissions de $N_2O$ liées à la fertilisation des terres forestières sont actuellement négligées dans l'inventaire français.

*Emissions de $N_2O$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Les émissions liées au drainage ou à la remise en eau sont actuellement estimées dans l'inventaire français pour les sols organiques des cultures et de prairies uniquement et sont négligées en forêt.

*Emissions de $N_2O$ liées à la minéralisation des sols*

Les émissions de $N_2O$ liées à la minéralisation des sols sont estimées dans l'inventaire français pour les terres forestières dans tous les cas où la conversion vers une terre forestière entraine une perte de carbone des sols ce qui ne se rencontre que dans quelques régions dans l'inventaire actuel et uniquement sur des terres de prairies converties en forêt.

*Emissions de $N_2O$ liées au brûlage*

Conformément aux recommandations du Giec [672], la génération de $N_2O$ issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois ou d'un défrichement est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse aérienne brûlée correspond à 5 % des rémanents par hypothèse. Les experts terrains rapportent que la pratique de brûlage n'est plus pratiquée, et souvent interdite par des arrêtés préfectoraux. Des dérogations étant possibles, une valeur conservatrice de 5 % est conservée. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Les émissions des feux de forêts sont estimées au moyen des facteurs d'émission de 0,26 kg/tMS (métropole) et de 0,2 kg/tMS (Outre-mer) tirés des lignes directrices du Giec 2006 [672].

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant :

https://www.citepa.org/fr/ominea

De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

#### 1.1.1.14 Approche et données

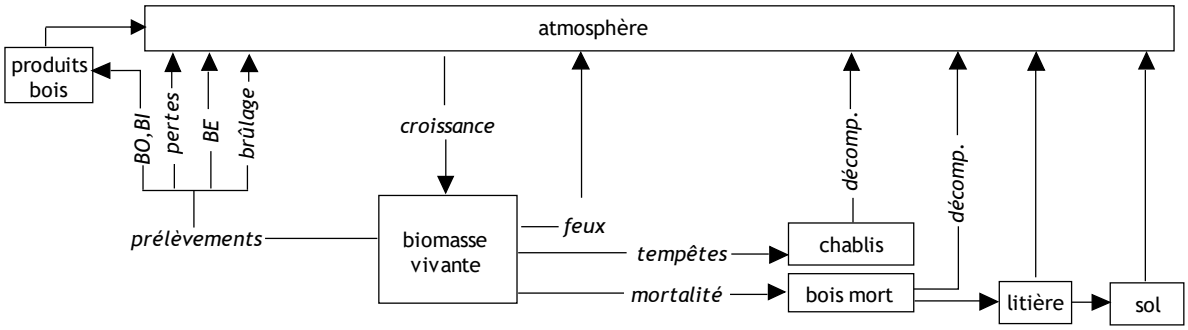
*Approche générale*

Les flux de carbone sont estimés en deux temps :

1. Dans un premier temps, la routine du modèle de variation de stock par maille estime, pour chaque année, et chaque compartiment les flux de carbone par variation de stock en fonction des changements d'usage (y compris entre sous-catégories d'une même catégorie Giec, par exemple entre feuillus et résineux). Ces flux concernent à la fois les terres forestières restant terres forestières et les terres devenant forêt.
2. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés à la biomasse ligneuse type forêt (méthode gains-pertes). Ils sont appliqués aux terres forestières restant terres forestières.

En forêt, les estimations se font donc en partie avec une approche gains-pertes et en partie avec une approche par variation de stock à la maille.

**Figure 196 : Schéma récapitulatif des flux et stocks de carbone pour la forêt**




Parmi ces stocks et ces flux, certains sont connus directement (donnée d'entrée), d'autres sont estimés indirectement à partir de données d'entrée et d'hypothèses, et enfin certains ne sont pas estimés. La méthode des flux permet d'estimer directement les flux entre compartiments mais ne permet pas de connaître l'état des stocks. La méthode de variation de stock permet d'estimer indirectement ces flux.

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*.

Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories de forêts pour l'ensemble des compartiments carbone. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

**Tableau 262 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille**

| tC/ha | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Forêts indéfinies | 70 [21 ; 120] | 13 [4 ; 23] | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 4 [0 ; 9] | 11 [5,7 ; 17,6] | 77 [48 ; 95] |
| Forêts feuillus | 71 [20 ; 127] | 12 [3 ; 21] | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 4 [1 ; 11] | 5,7 | 77 [48 ; 95] |
| Forêts conifères | 62 [21 ; 126] | 14 [5 ; 29] | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 3 [0 ; 9] | 14,3 [8,1 ; 24,5] | 77 [48 ; 95] |
| Forêts mixtes | 70 [21 ; 120] | 13 [4 ; 23] | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 4 [0 ; 9] | 11 [5,7 ; 17,6] | 77 [48 ; 95] |
| Peupleraies | 80 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 3 | 5,7 | 77 [48 ; 95] |

*moyenne [min, max]*

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en forêt (ou entre sous-catégories de forêt). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue forêt dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux de la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

**Tableau 263 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| tC/ha/an | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Forêts indéfinies | 1,1 [0,4 ; 2] | 0,3 [0,1 ; 0,6] | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0,1 [0 ; 0,23] | 0,5 [0,3 ; 0,9] | 1,22 |
| Forêts feuillus | 1,1 [0,3 ; 1,9] | 0,3 [0,1 ; 0,5] | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0,1 [0,02 ; 0,26] | 0,3 | 1,22 |
| Forêts conifères | 1,2 [0,4 ; 2,4] | 0,4 [0,1 ; 0,7] | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0,07 [0 ; 0,23] | 0,7 [0,4 ; 1,2] | 1,22 |
| Forêts mixtes | 1,1 [0,4 ; 2] | 0,3 [0,1 ; 0,6] | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0,1 [0 ; 0,23] | 0,5 [0,3 ; 0,9] | 1,22 |
| Peupleraies | 1,4 | 0,4 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0,06 [0,06 ; 0,06] | 0,3 | 1,22 |

*moyenne [min, max]*

**Tableau 264 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres forestières, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| tC/ha/an | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Forêts indéfinies | 0 | 0 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | 0 | 0 | -1,22 |
| Forêts feuillus | 0 | 0 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | 0 | 0 | -1,22 |
| Forêts conifères | 0 | 0 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | 0 | 0 | -1,22 |
| Forêts mixtes | 0 | 0 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | 0 | 0 | -1,22 |
| Peupleraies | 0 | 0 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | 0 | 0 | -1,22 |

***Approche en métropole***

*Méthodologie de l'inventaire forestier*

Les données décrites dans cette partie sont relatives aux flux qui s'ajoutent dans un second temps aux résultats du modèle de variation par maille. Ce sont des flux de types gains-pertes appliqués à l'échelle de la région administrative (22 anciennes régions).

Les flux de carbone estimés pour la forêt sont en grande partie dérivés des travaux de l'IGN qui produit l'inventaire forestier de la France. Le protocole pour la production des résultats d'inventaire forestier de l'IGN est décrit en détail sur le site internet de l'IGN [594]. L'inventaire forestier repose sur un système d'échantillonnage systématique comportant annuellement environ 80 000 points d'inventaire.

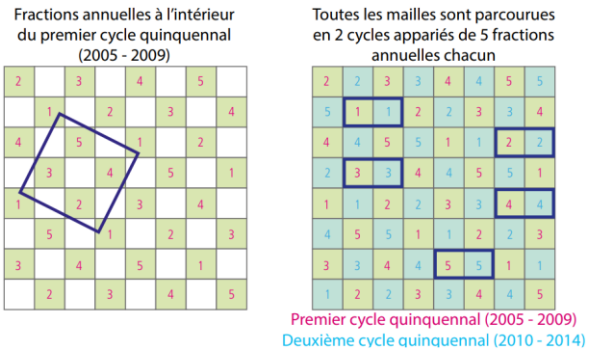
Deux grandes étapes peuvent être distinguées : la photo-interprétation de tous ces points d'inventaire (classification par couverture et usage et estimation des surfaces) ; la visite de terrain sur une partie des points d'inventaire classés en forêt ou landes (estimation de plusieurs dizaines de caractéristiques qualitatives et quantitatives) (voir encadré ci-dessous).

**Méthodologie de l'IFN**

« Depuis 2005, une méthode statistique par sondage systématique est appliquée annuellement sur l'ensemble du territoire métropolitain. L'avantage de cette méthode est d'être souple et de s'adapter facilement à de multiples découpages spatiaux et à de nombreuses thématiques. Elle permet de produire annuellement des résultats nationaux et régionaux précis par agrégation de données issues de cinq campagnes annuelles.

Chaque année, un échantillon représentatif de l'ensemble du territoire est visité. Il est cumulable avec les échantillons des années adjacentes pour produire des résultats plus précis fondés sur plusieurs échantillons annuels, selon le principe de la fenêtre glissante. Les résultats standards portent ainsi sur cinq années successives et fournissent des estimations pour l'année médiane de la fenêtre. L'inventaire forestier repose sur une grille à maille carrée de 1 km de côté, mise en place pour construire dix échantillons annuels différents. Cette grille décennale est séparée en deux sous-ensembles quinquennaux, dont les fractions annuelles sont juxtaposées : la fraction 1 du premier cycle quinquennal est juxtaposée à la fraction 1 du second cycle, etc.

Ainsi, une grille formée de cinq ensembles de mailles rectangulaires de 2 km$^2$ se dessine, ce qui permet une optimisation logistique entre les points « première visite » et les points « deuxième visite ». En effet, depuis 2010, le plan d'échantillonnage est composé de points revisités systématiquement cinq ans après le passage initial.




Chaque année, la première phase statistique de l'inventaire est la photo-interprétation ponctuelle. À partir de l'orthophotographie départementale de référence en infrarouge couleur (BD ORTHO®), formations ligneuses sont notées sur des placettes de 25 mètres de rayon entourant les points d'inventaire. La photo-interprétation ponctuelle est composée de deux échantillons différents, pour un travail de photo-interprétation à réaliser de manière homogène :
un premier échantillon de points nouveaux, constitués de points photo-interprétés pour la première fois, et un deuxième échantillon de points re-photo-interprétés, constitué de points déjà photo-interprétés cinq ans auparavant. Ce sont désormais environ 100 000 points qui sont photo- interprétés chaque année. Les résultats de ce travail initial contribuent à une première estimation de la surface du territoire selon la couverture et l'utilisation du sol.
La seconde phase consiste à tirer un sous-échantillon parmi les points de la première phase : les couvertures boisées et les landes font l'objet d'un inventaire sur le terrain (soit environ 7 000 points visités chaque année), les couvertures agricoles et en improductif n'en font pas l'objet. Au cours des travaux de terrain, des observations et mesures portant sur le milieu et la végétation (arborée ou non) sont effectuées sur les placettes concentriques entourant le point. Cela permet de qualifier plusieurs dizaines de caractéristiques qualitatives et quantitatives, concernant le peuplement forestier, la végétation, les conditions stationnelles et les arbres (hauteur, diamètre, accroissement, âge, etc.). Des données sur le bois mort au sol sont également collectées, par inventaire des pièces de bois mort au sol qui intersectent le transect de 12 m de long centré sur la placette. L'espèce concernée, le diamètre de la pièce, ainsi que son état de décomposition sont relevés. De plus, un suivi des habitats forestiers est mis en place. Il s'appuie sur des clés régionalisées par domaine biogéographique ou grande région écologique et est basé sur des indicateurs écologiques et floristiques. Profitant de la proximité des mailles des échantillons n et n-5, depuis la campagne 2010, la visite des points d'un nouvel échantillon n permet un retour sur les points de l'échantillon n-5 (plus de 7 000 points par an). Depuis la campagne 2015, une grande majorité des informations sont ressaisies. Ce retour est destiné à estimer de manière précise et fiable les évolutions (flux) en forêt, comme l'accroissement des peuplements, la mortalité des arbres ou les prélèvements de bois. Les placettes initiales acquièrent ainsi un caractère « semi-permanent », puisqu'elles font l'objet d'une nouvelle mesure, cinq ans après leur mise en place. » [594, 1027, 1028]

des informations relatives à la couverture du sol, à son utilisation
et à la taille des

*Intégration des campagnes de l'IFN dans l'inventaire*

Pour la France métropolitaine, les données sur l'accroissement (croissance brute), la mortalité et les prélèvements issues des campagnes IFN sont fournies, en tonnes de carbone, avec le degré de détail suivant :
- pour la biomasse aérienne et racinaire ;
- par type de peuplement (purement feuillu, purement conifère, mixte, peupleraie) ;
- par interrégion (regroupement des 22 anciennes régions en 5 interrégions : Nord-Est, Centre-Est, Sud-Est, Sud-Ouest, Nord-Ouest), voir carte ci-dessous ;




**Figure 197 : Carte des interrégions IGN**

- en distinguant les chablis des tempêtes exceptionnelles ;
- par campagne (les résultats de chaque campagne quinquennale sont affectés à l'année médiane, cf. tableau ci-dessous).

**Tableau 265 : Campagnes de l'inventaire forestier national fournies par l'IGN utilisées dans l'inventaire UTCATF (métropole)**

| | | | Interpolation 1990-2007 | | | | | Années renseignées par les campagnes IFN | | | | | | | | | | | | | Extrapolation | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Résultats fournis en… | Campagne IFN | Année médiane | 1990 | 1991 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| | 1990 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2011 | 2005-2009 | 2007 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2012 | 2006-2010 | 2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2013 | 2007-2011 | 2009 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2014 | 2008-2012 | 2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2015 | 2009-2013 | 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2016 | 2010-2014 | 2012 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2017 | 2011-2015 | 2013 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2018 | 2012-2016 | 2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2019 | 2013-2017 | 2015 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2021 | 2014-2018 | 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2021 | 2015-2019 | 2017 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2022 | 2016-2020 | 2018 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2023 | 2017-2021 | 2019 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2024 | 2018-2022 | 2020 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Il est important de souligner que les méthodes d'inventaire de l'IGN ont changé en 2005 de manière à pouvoir produire des résultats nationaux tous les ans, ce qui n'était pas le cas auparavant. Du fait de ces changements et de la nécessité d'avoir une information fiable et représentative, les résultats d'inventaire forestiers sont actuellement fournis sur des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-

2011, etc.). La dernière campagne utilisée pour l'inventaire est celle de 2017-2021, relative à l'année médiane 2019. Les trois dernières années sont issues d'extrapolation.

*Accroissement (ou production brute)*

En France métropolitaine, l'IGN fournit des estimations de la production brute au sein des forêts de production par type de peuplement et par interrégion. Le protocole de terrain de l'inventaire forestier de l'IGN pour estimer ce paramètre de production est décrit sur le site internet de l'IGN [594].

La production brute annuelle totale de la forêt est estimée en sommant la production des arbres recensables depuis 5 ans (accroissement en volume des 5 dernières années), le recrutement (volume des arbres recensables depuis moins de 5 ans) et la production sur la période précédant leur mort des arbres coupés ou morts durant les 5 dernières années. La production annuelle brute est donc basée sur une estimation de la production sur une période de 5 ans en raison du protocole de collecte des données de terrain. Cette approche se justifie également par la forte variabilité interannuelle de l'accroissement des arbres qui peut ainsi être lissée dans les inventaires d'émission.

La production brute des arbres est estimée à partir des mesures de terrain notamment la circonférence, la hauteur, et l'accroissement radial des arbres présents. L'échantillonnage étant systématique et non biaisé, ces mesures peuvent être extrapolées à l'ensemble de la forêt métropolitaine. Pour les arbres recensables depuis 5 ans la production en volume (en m3 de bois fort tige IGN) est estimée par arbre grâce à l'équation suivante :

**Équation 5 (Forêts)**

$$\text{Production} = V_t - V_{t-5} = V''_t \times (1 - V'_{t-5}/V'_t)$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| Production | = | Volume de production brute sur 5 ans entre l'année t et l'année t-5 |
| $V_t$ | = | Volume de l'arbre l'année t |
| $V_{t-5}$ | = | Volume de l'arbre l'année t-5 |
| $V''_t$ | = | Volume de l'arbre l'année t estimé par un tarif de cubage à 2 entrées (circonférence, hauteur) |
| $V'_t$ | = | Volume de l'arbre l'année t estimé grâce un tarif de cubage à 1 entrée (circonférence) |
| $V'_{t-5}$ | = | Volume de l'arbre l'année t-5 estimé grâce un tarif de cubage à 1 entrée (circonférence) |

Les volumes V''t, V't, V't-5 (exprimés en bois fort tige IGN) sont estimés à partir de tarifs de cubage spécifiques développés par l'IGN (IGN, 2010) :

V''t est fonction de la circonférence à 1,30 m et de la hauteur de l'arbre l'année t.

$V'_t$ et $V'_{t-5}$ sont estimés par des tarifs de cubage à une seule entrée qui est la circonférence l'année t-5 (déduit de la mesure de l'accroissement radial).

Les tarifs de cubage à une entrée sont moins précis que ceux à deux entrées mais ils permettent de s'affranchir de la hauteur de l'arbre à t-5 qui est inconnue. L'utilisation du ratio $V1_{t-5}/V1_t$ permet d'atténuer le biais que représente l'usage de tarifs de cubage à une seule entrée.

**Méthodologie de l'IFN : mesure de l'accroissement**

« L'accroissement radial des cinq dernières années est mesuré sur tous les arbres vifs inventoriés de la placette. Pour ce faire, les agents de terrain utilisent une tarière de Pressler qui permet d'obtenir une carotte de bois prise à une hauteur de 1,30 m. Cette carotte est ensuite examinée et mesurée à la loupe pour disposer d'un accroissement radial en dixièmes de millimètres sur les cinq dernières années. Le cerne de l'année t n'est marqué qu'à la fin de la saison de végétation, c'est-à-dire vers la fin de l'été ou le début de l'automne. La campagne d'inventaire de l'année t débute en novembre de l'année t-1 à un moment où le cerne t-1 est pleinement constitué. C'est celui-ci qui est mesuré, ainsi que les quatre précédents, tout au long de la campagne de l'année t. Le cerne mis en place l'année t n'est pas mesuré. Les mesures de l'année n concernent donc bien les années de croissance t-5 à t-1 exactement. » [594]

L'IGN produit des résultats de production brute en volume de bois fort tige IGN ce qui correspond à une unité traditionnellement utilisée dans les inventaires forestiers. Mais il fournit également ces résultats en biomasse total et en carbone total grâce à l'utilisation de tarifs de cubage et de facteurs de conversion spécifiques. Pour les résultats de production en biomasse totale, l'équation UTCATF 6 est également utilisée en revanche le paramètre V''t est exprimé en biomasse totale et est estimé grâce à des tarifs de cubage différents [595] de ceux utilisés pour estimer les volumes en bois fort tige (IGN, 2010). Les données de production fournies par l'IGN sur des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-2011, etc.). Ces données sont traitées par l'IGN pour correspondre aux années médianes (2007, 2008, 2009, etc.) dans

l'inventaire de GES. Certaines années médianes correspondent donc à des périodes incluant ou non les impacts de la tempête Klaus qui a eu lieu en 2009.

**Tableau 1 : Production brute annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN en métropole (exemple pour l'année 2007)**

| | PUREMENT FEUILLU | MIXTE | PUREMENT CONIFERE | PEUPLERAIE | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| CENTRE-EST | 4 120 | 1 370 | 2 707 | 73 | 8 270 |
| NORD-EST | 7 964 | 1 352 | 1 828 | 127 | 11 272 |
| NORD-OUEST | 7 719 | 716 | 1 177 | 383 | 9 996 |
| SUD-EST | 1 882 | 557 | 1 523 | 19 | 3 981 |
| SUD-OUEST | 4 480 | 553 | 2 827 | 133 | 7 993 |
| **FRANCE** | **26 165** | **4 549** | **10 062** | **736** | **41 512** |

L'intégralité des valeurs de production utilisées dans l'inventaire est disponible par région, par type de peuplement et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Les données transmises par l'IGN issues du nouveau protocole de l'IFN concernent actuellement les années de 2007 à 2019 (en termes d'années médianes des campagnes). D'autres données issues des anciens inventaires forestiers, permettent d'estimer la production de l'année 1990. Enfin la production de la période 1990-2007 est estimée par interpolation des taux de croissance par hectare entre 1990 et 2007.

*Mortalité*

La mortalité annuelle correspond au volume des arbres qui sont morts durant l'année. Il s'agit donc du flux annuel de carbone entre le compartiment biomasse vivante et le compartiment bois mort. Il s'agit de la mortalité de fond, hors tempêtes exceptionnelles qui font l'objet d'un traitement particulier (voir plus bas). Ce flux est directement comptabilisé comme une émission vers l'atmosphère. En pratique l'IGN estime ce paramètre en mesurant les volumes des arbres morts depuis moins de cinq ans précédant la visite sur le terrain. La mortalité annuelle est estimée à partir des mesures de terrain notamment la circonférence et la hauteur des arbres morts présents. L'échantillonnage étant systématique et non biaisé, ces mesures peuvent être extrapolées à l'ensemble de la forêt métropolitaine.

Dans le Giec 2006, cette grandeur n'est pas clairement présentée elle est incluse dans le paramètre $L_{disturbances}$ de l'équation 2.11 du Giec 2006 [672] traitant des pertes de carbone des terres forestières.

L'IGN produit des résultats de mortalité en volume de bois fort tige IGN mais également en biomasse total et en carbone total grâce à l'utilisation de tarifs de cubage (Vallet, 2006) et de facteurs de conversion spécifiques. Les données de mortalité fournies par l'IGN concernent des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-2011, etc.). Ces données sont traitées par l'IGN pour fournir une mortalité « de fond » hors tempête Klaus (la mortalité liée à la tempête Klaus est traitée de manière distincte cf. paragraphe sur les tempêtes). Les résultats obtenus pour ces périodes sont appliqués aux années médianes (2007, 2008, 2009, etc.) dans l'inventaire de GES. La mortalité est extrapolée sur toute la période depuis 1990 sur la base de la tendance estimée pour la production.

Les données utilisées étant des moyennes quinquennales assimilées à l'année médiane, il y a toujours un décalage entre la dernière année médiane consolidée disponible et la dernière année à estimer pour l'inventaire de GES. Pour l'inventaire édition 2022 par exemple, la dernière campagne utilisable concerne les années 2015-2019 et est assimilée à l'année 2017. Pour estimer les années 2018, 2019 et 2020, une extrapolation temporaire est effectuée pour pallier ce décalage. Pour les données de production brute et de mortalité les valeurs utilisées pour les trois dernières années sont donc temporaires. L'extrapolation est réalisée en faisant la moyenne des 5 dernières campagnes (production brute) ou des 5 dernières valeurs annualisées (mortalité), afin de ne pas faire d'hypothèse forte sur les tendances. Pour les prélèvements, des données plus récentes sont en revanche disponibles (voir section suivante).

**Tableau 266 : Mortalité annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN en métropole (exemple pour l'année 2007)**

| | PUREMENT FEUILLU | MIXTE | PUREMENT CONIFERE | PEUPLERAIE | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| CENTRE-EST | 628 | 152 | 290 | 2 | 1 071 |
| NORD-EST | 372 | 76 | 78 | 5 | 531 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| NORD-OUEST | 658 | 81 | 61 | 2 | 801 |
| SUD-EST | 360 | 116 | 257 | 0 | 732 |
| SUD-OUEST | 512 | 52 | 51 | 1 | 616 |
| **FRANCE** | **2 529** | **478** | **735** | **10** | **3 752** |

L'intégralité des valeurs de mortalité utilisées dans l'inventaire est disponible par région, par type de peuplement et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

*Prélèvements*

**Équation 6 (Forêts) (basée sur l'équation 2.11 du Giec 2006 [672])**

$$\Delta CFF_L = L_{wood\text{-}removals} + L_{fuelwood} + L_{disturbances}$$

Avec :

$\Delta CFF_L$ = Perte annuelle de carbone due à la perte de biomasse dans les forêts restant forêts, t C/an
$L_{wood\text{-}removals}$ = Perte annuelle de carbone due aux récoltes commerciales de bois, t C/an
$L_{fuelwood}$ = Perte annuelle de carbone due aux récoltes de bois énergie, t C/an
$L_{disturbances}$ = Pertes de carbone liées aux perturbations (pertes sans récolte), t C/an

Les prélèvements de bois sont actuellement déterminés en combinant deux sources :

- D'une part des données de prélèvement de bois sont produites de façon directe par l'IGN lors de son inventaire forestier national (source « directe »)
- D'autre part, le Giec propose un modèle qui permet d'évaluer indirectement ces prélèvements, à partir des statistiques de ventes de bois d'œuvre et d'industrie (source « modèle »)

Ces deux sources, « directe » et « modèle », sont ensuite combinées pour évaluer le volume des prélèvements (cf. section sur les méthodes d'estimation des émissions pour plus de détails).

*Bilan forestier*

**Tableau 267 : Paramètres et bilan pour la biomasse forestière totale en métropole (ktC/an)**

| | Accroissement | Mortalité | Prélèvements | Bilan |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 35 895 | -3 250 | -21 974 | 10 671 |
| 1991 | 36 196 | -3 275 | -22 937 | 9 984 |
| 1992 | 36 514 | -3 302 | -23 428 | 9 784 |
| 1993 | 36 848 | -3 331 | -21 912 | 11 605 |
| 1994 | 37 175 | -3 361 | -21 811 | 12 003 |
| 1995 | 37 505 | -3 394 | -21 898 | 12 213 |
| 1996 | 37 845 | -3 425 | -21 131 | 13 289 |
| 1997 | 38 180 | -3 455 | -21 437 | 13 288 |
| 1998 | 38 516 | -3 484 | -21 097 | 13 935 |
| 1999 | 38 830 | -3 512 | -38 406 | -3 088 |
| 2000 | 39 166 | -3 544 | -24 815 | 10 807 |
| 2001 | 39 493 | -3 574 | -21 861 | 14 058 |
| 2002 | 39 802 | -3 603 | -19 664 | 16 535 |
| 2003 | 40 128 | -3 631 | -18 966 | 17 531 |
| 2004 | 40 492 | -3 663 | -19 227 | 17 602 |
| 2005 | 40 824 | -3 692 | -17 612 | 19 520 |
| 2006 | 41 160 | -3 722 | -17 578 | 19 860 |
| 2007 | 41 054 | -3 768 | -17 702 | 19 584 |
| 2008 | 40 966 | -3 965 | -16 946 | 20 055 |
| 2009 | 40 677 | -4 125 | -18 091 | 18 461 |
| 2010 | 40 867 | -4 042 | -18 856 | 17 970 |
| 2011 | 40 156 | -4 103 | -18 377 | 17 676 |
| 2012 | 39 917 | -4 340 | -18 377 | 17 200 |
| 2013 | 40 324 | -4 573 | -17 428 | 18 323 |
| 2014 | 39 657 | -4 775 | -17 003 | 17 879 |
| 2015 | 39 325 | -5 556 | -18 012 | 15 757 |
| 2016 | 38 375 | -6 454 | -17 942 | 13 979 |
| 2017 | 37 524 | -7 851 | -18 719 | 10 954 |
| 2018 | 38 619 | -9 072 | -19 475 | 10 072 |
| 2019 | 39 528 | -9 929 | -19 997 | 9 602 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2020 | 39 507 | -11 077 | -20 463 | 7 967 |
| 2021 | 39 507 | -11 571 | -19 504 | 8 432 |
| 2022 | 39 507 | -11 387 | -20 366 | 7 755 |
| 2023 | 39 507 | -11 204 | -20 061 | 8 242 |

*Ce tableau inclut les pertes de carbone liées aux feux de forêt et aux tempêtes dans la mortalité

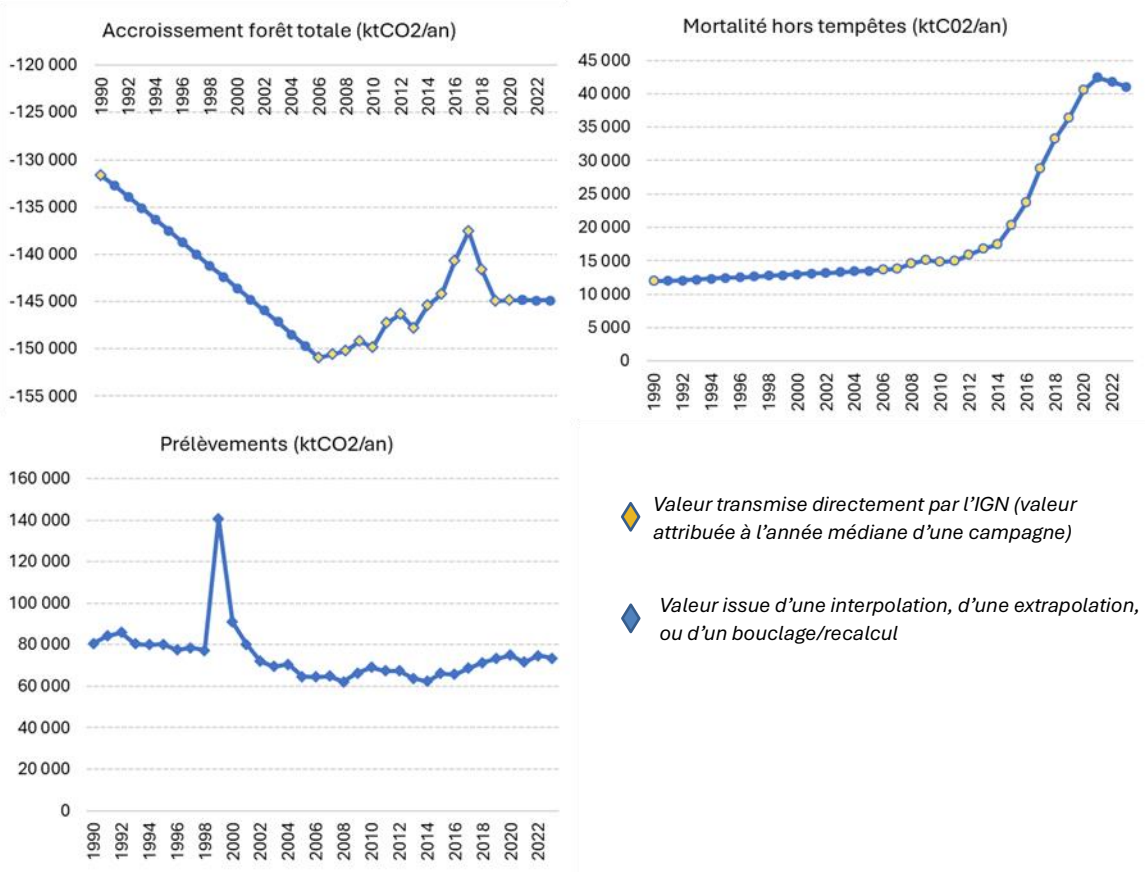



**Figure 198 : Evolution des trois composantes principales du puits forestiers : accroissement, mortalité et prélèvements en forêt totale (métropole) (Source : voir détail parties précédentes)**

L'intégralité des valeurs du bilan est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx (valeurs converties en CO2e).

*Discussion*

Une approche par variation de stock est envisageable, en complément de l'approche des flux actuellement appliquée. Un travail de l'IGN pourrait permettre une première estimation de la variation de stock de carbone en forêt restant forêt, qui pourra être comparée avec le bilan des flux mesurés jusqu'ici.

***Approche en Outre-Mer***

En Outre-mer (zone UE), il n'existe pas de résultats similaires issus d'inventaires forestiers en raison de la faible exploitation forestière et du type de forêt. Des estimations ont donc été produites sur les accroissements forestiers dans les zones exploitées (bande littorale et domaine forestier permanent représentant environ 1/3 des surfaces forestières), à l'aide de données spécifiques à la Guyane. Pour les zones non exploitées pour de la production de bois (principalement le Parc Amazonien de Guyane), une hypothèse de neutralité est appliquée.

*Données*

Pour la zone exploitée, les données de l'ONF (surface exploitée, taux de récolte) sont mobilisées, ainsi qu'un facteur d'accroissement fixé à 1tC/ha/an pour les terres ayant subi une exploitation sur la base de Guitet et al. (2006) [328] (valeur d'accroissement de la biomasse aérienne après récolte entre 1,5tMS/ha/an et 2tMS/ha/an).

Pour le reste de la Guyane, l'hypothèse de neutralité s'appuie aussi sur l'expertise de Guitet et al. (2006) [328]. Pour les terres ayant été boisées depuis moins de 20 ans, la valeur de 1tC/ha/an est utilisée, en cohérence avec la valeur utilisée pour estimer l'accroissement sur les terres ayant subi une exploitation.

**Incertitudes le rôle de puits de la forêt guyanaise**

Le bilan carbone de l'écosystème forestier en Amazonie est incertain. Certaines études tendent à montrer que la forêt amazonienne en général aurait un rôle de puits, d'autres montrent qu'il s'agirait plutôt d'une source. Ces résultats dépendent de multiples paramètres (périmètre, mesure ou estimation, région, échantillonnage, période…).

La prise en compte des phénomènes de surmortalité liée à la variabilité pluvio-climatique ainsi qu'à la dégradation forestière (au-delà de la déforestation) induit des estimations qui remettent parfois en question le rôle de puits de carbone de la forêt amazonienne. Au niveau mondial, à partir de mesures satellitaires couplées aux données de terrain, Baccini et al. (2017) concluent que les espaces forestiers tropicaux seraient une légère source, et non un puits. La croissance ne compenserait pas la déforestation ni la dégradation et perturbation (69% des pertes).

L'analyse des données forestières historiques montre que si l'Amazonie joue un rôle de puits de carbone, une tendance au déclin de cette accumulation est observée à long terme (Brienen et al., 2015). Le taux d'accroissement dans la biomasse aérienne a diminué de 2/3 entre les années 1990 et les années 2010. On observer un récent phénomène de stagnation (atteinte d'un plateau) dans la croissance, alors que la mortalité a continué d'augmenter.

D'après Philips et Brienen (2017), en Amazonie, la forêt constitue un puits persistant, même s'il s'est affaibli depuis les années 2000. En Guyane, ce puits serait d'ampleur à compenser l'intégralité des émissions générées, y compris par la déforestation et les changements d'occupation des terres. Les forêts de Guyane n'ont pas forcément la même sensibilité aux hausses de mortalité que celles du reste de la région amazonienne. Cette sensibilité reste corrélée à la quantité de biomasse aérienne présente (Johnson, et al. 2016).

*Equations générales*

*Equation générale pour la variation de stock en forêt restant forêt (ΔCFF)*

La catégorie des forêts restant forêts correspond à l'ensemble des terres en forêt depuis au moins 20 ans (période par défaut définie par le Giec). Cette section vise l'estimation des variations de stock de carbone pour chacun des réservoirs de carbone identifié par le Giec. Cette estimation est illustrée par l'équation suivante inspirée du Giec 2006 [672].

**Équation 7 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.3 du Giec 2006 [672])**

$$\Delta CFF = (\Delta CFF_{LB} + \Delta CFF_{DOM} + \Delta CFF_{Soils})$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta CFF$ | = | Variation de stock annuelle dans l'ensemble des stocks de carbone des forêts restant forêts, t C/an |
| $\Delta CFF_{LB}$ | = | Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an |
| $\Delta CFF_{DOM}$ | = | Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse morte (bois mort et litière inclus) des forêts restant forêts, t C/an |
| $\Delta CFF_{Soils}$ | = | Variation de stock annuelle du carbone de la matière organique du sol des forêts restant forêts, t C/an |

*Equation générale pour la variation de stock en terres devenant forêt (ΔCLF)*

La catégorie des terres devenant forêts correspond à l'ensemble des terres en forêt depuis moins de 20 ans (période par défaut définie par le Giec). Cette section vise l'estimation des variations de stock de carbone pour chacun des réservoirs de carbone identifié par le Giec. Cette estimation est illustrée par l'équation suivante inspirée du Giec 2006 [672].

**Équation 8 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.3 du Giec 2006 [672])**

$$\Delta CLF = (\Delta CLF_{LB} + \Delta CLF_{DOM} + \Delta CLF_{Soils})$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta CLF$ | = | Variation de stock annuelle dans l'ensemble des stocks de carbone des terres devenant forêts, t C/an |
| $\Delta CLF_{LB}$ | = | Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante (aérienne et souterraine) des terres devenant forêts, t C/an |

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta CLF_{DOM}$ | = | Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse morte des terres devenant forêts, tC/an ($\Delta CLF_{DOM} = \Delta CLF_{DW} + \Delta CLF_{LT}$ soit bois mort + litière) |
| $\Delta CLF_{Soils}$ | = | Variation de stock annuelle du carbone de la matière organique du sol des terres devenant forêts, t C/an |

#### 1.1.1.15 Forêts restant forêts (4A1)

***Biomasse vivante (terres forestières restant terres forestières) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]***

*Calcul de la variation de stock (ΔCFFLB)*

*Rappel approche générale*

Les flux de carbone sont estimés en deux temps :

1. Dans un premier temps, la routine du modèle de variation de stock par maille estime, pour chaque année, et chaque type de biomasse les flux de carbone par variation de stock en fonction des changements d'usage entre sous-catégories (par exemple entre feuillus et résineux). Les stocks et flux associés sont décrits dans la section *UTCATF- général*.
2. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée (interrégion IFN), d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés à la biomasse ligneuse type forêt (méthode gains-pertes). Ils concernent la biomasse vivante type forêt.

Dans cette partie seront décrits les flux relatifs au second point. Ce sont des flux relatifs à l'accroissement, la mortalité, les prélèvements forestiers et certains événements exceptionnels comme les tempêtes ou les feux de forêts (cf. la partie qui précède *Caractéristiques de la catégorie*).

Les éléments suivants vont décrire les évolutions impactant la biomasse de type forêt. Pour les autres types de biomasse, une simple application du modèle de variation de stock à la maille est réalisée.

**Équation 9 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.4 du Giec 2006 [672])**

$$\Delta CFF_{LB} = \Delta CFF_{modele} + (\Delta CFF_G - \Delta CFF_L)$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta CFF_{LB}$ | = | Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an |
| $\Delta CFF_{modele}$ | = | Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C / an, issue du modèle de variation de stock à la maille |
| $\Delta CFF_G$ | = | Gains annuels en carbone de la biomasse vivante type forêt, hors modèle, t C/an |
| $\Delta CFF_L$ | = | Pertes annuelles en carbone de la biomasse vivante, hors modèle, t C/an |

*Calcul des gains (ΔCFFG)*

Pour estimer l'accroissement des arbres ; en forêts restant forêts, le Giec propose la méthode suivante.

**Équation 10 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.9 du Giec 2006 [672])**

$$\Delta CFF_G = \Sigma_{ij} (A_FF_{ij} \bullet GTOTAL_FF_{ij}) \bullet CF$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta CFF_G$ | = | Accroissement annuel en carbone dans les forêts restant forêts, t C/an |
| $A_FF_{ij}$ | = | Surfaces de forêts restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m), ha |
| $GTOTAL_FF_{ij}$ | = | Accroissement moyen annuel en matière sèche (MS) sur les forêts restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m), t MS/ha/an |
| CF | = | Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS |

Cette équation est appliquée dans l'inventaire français avec n = 4 types de peuplement (feuillus, résineux, mixtes et peupliers) et m = 5 régions climatiques (Nord-Ouest, Nord-Est, Centre-Est, Sud-Ouest, Sud-Est). Les accroissements pour les deux sous-catégories de forêt de l'inventaire : les terres devenant forêt et les forêts restant forêt ne sont pas disponibles annuellement. Seul l'accroissement total de la forêt est disponible.

L'accroissement des boisements est calculé grâce au modèle de variation de stock par maille (voir partie terres devenant forêt). Un volume de production brute par région est donc estimé par le modèle de boisement (terres devenant forêts). Puis, le solde de l'accroissement IGN par interrégion est déduit et appliqué en forêt restant forêt. Cela permet de conserver une cohérence avec les données fournies par l'IGN pour l'accroissement total en France métropolitaine. La production à ajouter en forêt restant forêt est ramenée à l'hectare pour garder l'esprit de l'équation 11.

L'accroissement de ces deux sous-catégories est estimé à partir de l'accroissement total de la forêt et d'un ratio de répartition tel que défini dans l'équation suivante.

**Équation 11 (Forêts)**

$$P_FF_{ij} = P_TOTAL_{ij} - P_FF_{ij}_modele - P_LF_{ij}_modele$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $P_FF_{ij}$ | = | Production brute normalisée moyenne annuelle sur les forêts restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m), tC/an |
| $P_TOTAL_{ij}$ | = | Production brute sur les forêts totales, tC/an, (issu des campagnes IGN) |
| $P_FF_{ij}_modele$ | = | Production brute sur les forêts restant forêts, tC/an (issu du modèle de variation de stock de carbone par maille) |
| $P_LF_{ij}_modele$ | = | Production brute sur les terres devenant forêts, tC/an (issu du modèle de variation de stock de carbone par maille) |

*Calcul des pertes (ΔCFFL)*

Pour les pertes de carbone de biomasse vivante en forêt restant forêt l'équation suivante est utilisée.

**Équation 12 (Forêts)**

$$\Delta CFF_L = \Sigma_{ij} (P_FF_{ij} + Mortalité_FF_{ij}) \bullet CF$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta CFF_L$ | = | Pertes totales |
| $P_FF_{ij}$ | = | Prélèvements de bois (bois matériau et bois énergie) |
| $Mortalité_FF_{ij}$ | = | Mortalité moyenne annuelle en matière sèche (MS) sur les forêts restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m), t MS/ha/an |
| CF | = | Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS |

Aucune perte n'est calculée par le modèle de variation de stock à la maille en forêt restant forêt (les flux de pertes sont calibrés à zéro pour la biomasse de type forêt). Ils proviennent exclusivement d'estimations externes.

*Calcul des prélèvements de bois des forêts restant forêts (P_FFij) - Métropole*

Dans l'inventaire français, il est considéré que tous les prélèvements ont lieu sur les forêts restant forêt, les prélèvements de bois ne sont donc pas répartis entre forêts restant forêts et terres devenant forêts.

*Méthode « directe » de mesure des prélèvements par l'IGN*

Les prélèvements sont estimés dans un premier temps avec une donnée issue de l'IGN : l'estimation des « prélèvements directs » en forêt [202], disponibles en volume (bois fort tige IGN), en biomasse totale et en carbone total (grâce à l'utilisation de tarifs de cubage (Vallet, 2006) et de facteurs de conversion spécifiques), et sur des périodes de 5 ans.

**Méthodologie de l'IFN : mesure des prélèvements**

« Pour estimer les prélèvements, l'IGN revient sur toutes les placettes « forêt » et « peupleraie » inventoriées cinq ans auparavant et sur lesquelles des arbres vivants avaient été observés. Le choix du pas de temps de cinq ans correspond à la période d'évaluation des autres flux (croissance des arbres et mortalité). […] Sur les points où au moins un prélèvement de moins de 5 ans est signalé, chaque arbre qui était vivant et inventorié au passage précédent est noté comme coupé ou non. Un arbre est noté « coupé », que la grume soit vidangée ou non et que la souche soit déracinée ou non. » [594]

Cette donnée n'est disponible que depuis la mise à jour méthodologique de l'IFN de 2005, et donc est disponible pour des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-2011, etc.). Elle comptabilise les arbres prélevés en forêt entre deux campagnes d'inventaire forestiers et permet d'évaluer, avec une incertitude faible, les volumes de bois récoltés en forêt.

Ces données de prélèvement de l'IGN concernent l'ensemble des prélèvements, c'est-à-dire à la fois les prélèvements liés aux récoltes en forêts restant forêt, les volumes des forêts défrichées, ou encore une part des pertes en forêt lors des incendies.

**Équation 13 (Forêts)**

$$P_Foret_IGN = P_Total_IGN - P_Défrichement_IGN$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| P_Foret_IGN | = | Prélèvement dans les forêts, t C/an |
| P_Total_IGN | = | Prélèvement dans les forêts et sur les terres défrichées selon l'IGN, t C/an |
| P_Défrichement_IGN | = | Prélèvement sur les terres défrichées selon l'IGN, t C/an |

Ce niveau général de prélèvement (P_Foret_IGN) est utilisé en complément de données statistiques sur les récoltes de bois, obtenues via la méthode « modèle » (§ 2.3.3.1.2). En effet, cette donnée IGN sert uniquement, comme donnée de « calage », à fixer le niveau général de prélèvement pour toutes les années disponibles depuis 2005, pour chacune des 5 interrégions (§2.2.2.2). Ce niveau général est calculé avec une moyenne pondérée, en prenant en compte le fait que les années centrales participent au calcul de plusieurs périodes quinquennales et donc « pèsent » davantage que les années extrêmes. Ces données ne sont pas encore utilisées pour estimer la tendance des prélèvements en forêt ni pour estimer le type de forêt dans lequel ont lieu les prélèvements.

*Méthode « modèle » - approche générale*

En second temps, le niveau de prélèvement annuel est estimé à partir de différentes statistiques de vente de bois d'œuvre et de consommation de bois énergie, via un modèle qui permet d'estimer la récolte de bois et sa destination. Cette approche « modèle » est ensuite recalée sur le niveau général de prélèvement mesuré en forêt via la méthode « directe » (§ 2.3.2.3.1.2). L'approche modèle est toujours nécessaire car elle permet d'estimer les prélèvements depuis 1990 et appréhender le devenir du bois prélevé (savoir s'il est récolté, brûlé sur site, laissé en décomposition), la méthode directe servant de valeur de référence pour les années les plus récentes. Les prélèvements de bois en forêt rapportés dans l'inventaire UTCATF sont donc cohérents avec les résultats de l'IGN obtenus par la méthode « directe », mais il est nécessaire de conserver la méthode « modèle » pour avoir un ensemble cohérent sur l'ensemble de la période inventaire et des données adaptées au rapportage dans les inventaires d'émissions. La méthode « modèle » correspond à la méthode Giec d'estimation des prélèvements.

**Équation 14 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.12 du Giec 2006 [672])**

$$L_{wood\text{-}removals} = H \bullet D \bullet BEF_R \bullet (1+R) \bullet CF$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $L_{wood\text{-}removals}$ | = | Perte annuelle de carbone due aux récoltes de bois commercial, tC/an |
| H | = | Volume de bois commercial récolté annuellement, $m^3$/an |
| D | = | Densité du bois, t MS/$m^3$ |
| $BEF_R$ | = | Facteur d'expansion applicable aux volumes récoltés, sans unité |
| R | = | ratio racinaire/aerien, sans unité |
| $f_{BL}$ | = | fraction laissée en décomposition |
| CF | = | Fraction en carbone de la matière sèche, t C/t MS |

**Équation 15 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.13 du Giec 2006 [672])**

$$L_{fuelwood} = FG \bullet D \bullet BEF_R \bullet (1+R) \bullet CF$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $L_{fuelwood}$ | = | Perte annuelle de carbone due aux récoltes de bois énergie, t C/an |
| FG | = | Volume de bois énergie récolté annuellement, $m^3$/an |
| D | = | Densité du bois, t MS/$m^3$ |
| $BEF_R$ | = | Facteur d'expansion applicable aux volumes récoltés, sans unité |
| R | = | ratio racine/aérien, sans unité |
| CF | = | Fraction en carbone de la matière sèche, t C/t MS |

La méthode « modèle » est basée sur l'estimation de deux valeurs : les récoltes commerciales (bois d'œuvre et d'industrie principalement) et les récoltes non commerciales (bois de feu principalement).

*Méthode « modèle » - Récoltes commerciales – Bois d'œuvre et d'industrie*

Les récoltes commerciales sont issues des statistiques de ventes de bois d'œuvre et d'industrie. En métropole, l'enquête annuelle de branche sur « exploitation forestière et scierie » du SSP (EAB) fournit les volumes de récoltes commerciales de bois à l'échelle régionale [200].

*Méthode « modèle » - Récoltes non commerciales – Bois énergie*

Il s'agit essentiellement de prélèvement pour le bois de feu, (soit une partie du prélèvement de bois énergie), qui doit spécifiquement être estimée, bien que l'évaluation des volumes transitant par cette filière soit difficile en raison de la nature diffuse de l'activité.

*Utilisation du bilan de l'énergie*

L'utilisation de bilans de consommation de biomasse à des fins énergétiques (résidentiel, tertiaire, chauffage urbain, industrie, etc.) permet de disposer d'une estimation réaliste des volumes prélevés. Ainsi, la consommation globale de bois énergie est fournie par le SOES [1] mais cette donnée doit être adaptée pour estimer la récolte de bois énergie sur les terres forestières.

*Retranchement du bois énergie provenant de produits bois recyclés*

Tout d'abord une partie du bois utilisé comme bois de feu provient d'une seconde vie d'un bois commercial (par exemple, brûlage d'une table en bois), une estimation du taux de recyclage des produits bois est donc prise en compte afin de ne pas effectuer de double comptage. Ce taux est estimé à 5% du bois énergie consommé dans le résidentiel sur la base d'une étude réalisée en 2000 pour l'Ademe [596].

*Distinction entre bois de feu provenant de forêt et d'autres origines*

L'étude Andersen (1999) [596] estime également que 70% du bois de feu consommé par les ménages est issu de forêt, les 25% restant représentant un prélèvement sur une autre ressource (agriculture, etc.). Combinées avec des résultats de l'INESTENE [201], il a été possible de ventiler les quantités en fonction de leur provenance (forêts, bosquets ou haies, vergers et vignes) par région [493].

*Retranchement du bois énergie consommé en industrie provenant de produits connexes de scieries*

Ensuite, dans le bilan de l'énergie, pour le bois-énergie consommé dans l'industrie, on distingue :

- une part, majoritaire, correspondant à des produits connexes de scieries (écorces, sciures, copeaux, plaquettes de scierie…). On considère que la totalité du bois énergie consommé en industrie provient de cette source. Ce bois n'est donc pas décompté de la récolte en forêt pour éviter un double compte.
- une part correspondant à un prélèvement de bois en forêt, qui correspond à un surplus de consommation de bois énergie en industrie de l'énergie observée depuis 2007. Seules les industries de l'énergie dont l'énergie est la production principale sont prises en compte. Les industries dites « auto productrices » sont supposées liées à l'industrie du bois et ne participent pas à un surplus de prélèvement sur la ressource (ces dernières sont traitées comme les autres industries).

*Correction de l'effet de décalage entre récolte et consommation de bois de feu*

Enfin, il existe un décalage entre la consommation de bois dans le résidentiel et sa récolte en forêt. En moyenne on considère que le bois énergie est conservé entre 2 et 3 ans.

**Méthode (non appliquée) d'estimation de la récolte de bois prenant en compte ce décalage**

La récolte de bois de feu d'une année i pourrait être estimée en fonction de la consommation de bois de feu des années suivante, selon l'équation ci-après :

**Équation 16 (Forêts)**

$$Récolte_BE_{(i)} = (Frac_1 \bullet Conso_BE_{(i+2)} + Frac_2 \bullet Conso_BE_{(i+3)}) \bullet FCV$$

Frac2 = Part de la consommation de l'année i+3 correspondant à du bois récolté l'année i

Conso_BE(i+2) = consommation de bois énergie de l'année i+2, tep

$Conso_BE_{(i+3)}$ = consommation de bois énergie de l'année i+3, tep

FCV = Facteur de conversion en volume, $m^3$/tep

Avec :

Récolte_BE(i) = Récolte de bois énergie l'année i, m3

Frac1 = Part de la consommation de l'année i+2 correspondant à du bois récolté l'année i

Malheureusement, Il n'est pas possible aux exploitants forestiers de prévoir quelle sera la consommation de bois énergie dans les années futures i+2 ou i+3, cette méthode ne permet donc pas d'estimer la récolte de bois énergie de manière fiable. Par conséquent, une autre approche a été privilégiée.

Il a été supposé que les exploitants forestiers constituent des stocks. Il a ainsi été estimé que la récolte annuelle de bois énergie pouvait être approchée en moyennant les trois dernières années de consommation de bois énergie.

**Équation 17 (Forêts)**

$$Récolte_BE_{(i)} = (Conso_BE_{(i)} + Conso_BE_{(i-1)} + Conso_BE_{(i-2)}) / 3 \bullet FCV$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $Récolte_BE_{(i)}$ | = | Récolte de bois énergie l'année i |
| $Conso_BE_{(i)}$ | = | consommation de bois énergie de l'année i |
| $Conso_BE_{(i-1)}$ | = | consommation de bois énergie de l'année i-1 |
| FCV | = | Facteur de conversion en volume, $m^3$/tep |

Dans l'inventaire actuel, le facteur de conversion en volume (FCV) est estimé à 4,5 $m^3$/tep sur la base des estimations suivantes pour le bois énergie : 18GJ/t et 0,147 tep/stère et un facteur de densité moyen de 0,51 t/m3 obtenu à partir de CARBOFOR [204]. Pour l'industrie la consommation de bois est supposée essentiellement composée de sous-produits de l'industrie du bois (déjà pris en compte dans les récoltes de bois (grumes et industrie) sauf sur les années récentes pour lesquelles le développement du bois énergie génère un prélèvement additionnel sur la ressource.

- Les récoltes de bois d'œuvre et le bois énergie ne sont pas indépendantes (une partie des arbres coupés pour produire du bois d'œuvre ou d'industrie part en bois énergie).
- Les statistiques de récolte de bois ne différencient pas les récoltes de bois issues de terres forestières ou de terres défrichées.
- Les statistiques de consommation de bois énergie ne distinguent pas la source du bois énergie consommé.

**Tableau 268 : Récoltes de bois matériau et bois énergie en Métropole depuis 1990 fournies par le SSP [200] et le bilan de l'énergie [1]**

| ANNEE | BOIS D'OEUVRE (feuillus) (1000 $m^3$) | BOIS D'OEUVRE (résineux) (1000 $m^3$) | BOIS D'INDUSTRIE (feuillus) (1000 $m^3$) | BOIS D'INDUSTRIE (résineux) (1000 $m^3$) | BOIS ENERGIE ssp (1000 $m^3$) | BOIS ENERGIE forêt avec bouclage Soes (1000 $m^3$) | BOIS ENERGIE hors forêt Soes (1000 $m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 10 156 | 15 260 | 5 194 | 5 808 | 2 541 | 25 055 | 8 957 |
| 1991 | 9 724 | 14 077 | 5 435 | 6 283 | 2 702 | 26 962 | 9 774 |
| 1992 | 9 043 | 13 340 | 5 459 | 6 513 | 2 737 | 28 622 | 10 370 |
| 1993 | 8 033 | 12 509 | 4 732 | 5 901 | 2 755 | 29 473 | 10 684 |
| 1994 | 8 131 | 13 767 | 5 479 | 6 876 | 2 588 | 27 515 | 9 967 |
| 1995 | 8 290 | 14 374 | 5 523 | 7 271 | 2 471 | 25 966 | 9 428 |
| 1996 | 7 771 | 13 649 | 4 820 | 6 130 | 2 644 | 25 573 | 9 293 |
| 1997 | 7 845 | 14 245 | 5 342 | 6 495 | 2 770 | 25 343 | 9 210 |
| 1998 | 7 863 | 15 107 | 5 228 | 6 342 | 2 809 | 25 021 | 9 093 |
| 1999 | 7 952 | 15 240 | 5 366 | 6 503 | 2 771 | 23 475 | 8 538 |
| 2000 | 9 598 | 22 619 | 5 342 | 8 561 | 2 388 | 22 834 | 8 234 |
| 2001 | 7 642 | 18 952 | 4 788 | 8 477 | 2 359 | 22 226 | 7 977 |
| 2002 | 6 002 | 16 631 | 4 913 | 7 146 | 2 713 | 21 364 | 7 678 |
| 2003 | 5 719 | 15 120 | 5 142 | 6 283 | 2 287 | 21 517 | 7 717 |
| 2004 | 5 671 | 15 240 | 5 355 | 6 826 | 2 358 | 21 504 | 7 712 |
| 2005 | 5 858 | 14 741 | 5 375 | 6 799 | 3 547 | 22 087 | 7 913 |
| 2006 | 5 854 | 15 633 | 5 164 | 6 820 | 4 030 | 21 606 | 7 744 |
| 2007 | 6 343 | 16 427 | 5 315 | 6 870 | 3 754 | 22 450 | 7 462 |
| 2008 | 6 086 | 15 048 | 4 983 | 6 384 | 4 029 | 22 397 | 7 338 |
| 2009 | 5 228 | 17 265 | 4 113 | 8 235 | 5 516 | 23 521 | 7 478 |
| 2010 | 5 121 | 15 922 | 4 386 | 9 819 | 6 712 | 24 730 | 8 043 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2011 | 5 505 | 15 492 | 4 481 | 8 142 | 8 488 | 24 600 | 7 935 |
| 2012 | 4 978 | 13 239 | 4 643 | 6 693 | 7 847 | 25 123 | 8 105 |
| 2013 | 4 862 | 13 673 | 4 255 | 6 148 | 9 902 | 23 981 | 7 683 |
| 2014 | 5 209 | 14 136 | 4 722 | 6 400 | 9 959 | 25 014 | 7 773 |
| 2015 | 5 145 | 13 673 | 4 717 | 6 025 | 11 307 | 25 392 | 7 655 |
| 2016 | 5 392 | 13 698 | 4 615 | 5 945 | 11 931 | 27 001 | 7 989 |
| 2017 | 5 304 | 14 127 | 4 584 | 5 958 | 12 814 | 28 533 | 8 228 |
| 2018 | 5 443 | 14 599 | 4 614 | 5 726 | 13 147 | 29 391 | 8 250 |
| 2019 | 5 313 | 14 245 | 4 420 | 6 112 | 8 061 | 29 084 | 8 124 |
| 2020 | 4 751 | 13 712 | 4 104 | 5 918 | 8 135 | 28 191 | 7 807 |
| 2021 | 5 015 | 15 838 | 4 037 | 6 088 | 9 389 | 28 532 | 7 887 |
| 2022 | 5 294 | 14 691 | 4 233 | 6 078 | 9 602 | 27 985 | 7 649 |
| 2023 | 4 813 | 13 698 | 4 025 | 6 239 | 10 365 | 28 641 | 7 713 |

*Les données du bilan de l'énergie (SOeS) intègrent les consommations du résidentiel du tertiaire, de l'agriculture, des industries de l'énergie dites de production principale. Les consommations de l'industrie et des industries de l'énergie dites « auto productrices » en sont exclues.

Les prélèvements sont estimés par la méthode « modèle » avec les équations suivantes.

**Équation 18 (Forêts)**

$$P_{modele_i} = P_{BOBI_i} + P_{ciblésBE_i} + P_{défrichements_i}$$

avec $P_{BOBI_i} = \text{Récoltes}_{\text{BOBI}_{\text{SSPi}}} * BEF$ et $P_{ciblésBE_i} = \text{Récoltes}_{\text{ciblées BE}_i} * BEF_BE$

et $P_{ciblésBE_i} = Conso_{BE} * \%forêt - P_{défrichements_i} - P_{BOBI_i} * BEF * \%houppier_{valorisé}$

Avec :

| | |
|---|---|
| $P_modele_i$ | = Prélèvement de bois en forêt l'année i estimé par la méthode « modèle » (m3) |
| P_BOBI_i | = Prélèvement associés aux récoltes de bois matériau en forêt l'année i estimé par la méthode « modèle » (m3) |
| P_ciblés_BE_i | = Prélèvement associées aux récoltes ciblées bois énergie en forêt l'année i estimé par la méthode « modèle » (m3) |
| $P_défrichement_i$ | = Prélèvement de bois estimé pour l'année i sur les terres défrichées par le modèle de variation de stock à la maille |
| Récoltes_BOBI_SSPi | = Récolte commerciale de bois matériau estimée par le SSP pour l'année i (m3 bois fort) |
| BEF | = Facteur d'expansion de biomasse applicable aux récoltes de bois matériau |
| $Récolte_BE_{(i)}$ | = Récolte ciblée bois énergie en forêt estimée pour l'année i (m3 bois fort) |
| %forêt | = Part du bois énergie récolté en forêt |
| %houppier_valorisé | = Part des houppiers exploités pour du bois énergie |
| BEF_BE | = Facteur d'expansion de biomasse applicable aux récoltes de bois énergie |
| Conso_BE | = Consommation de bois énergie issue du bilan de l'énergie du SDES (m3) |

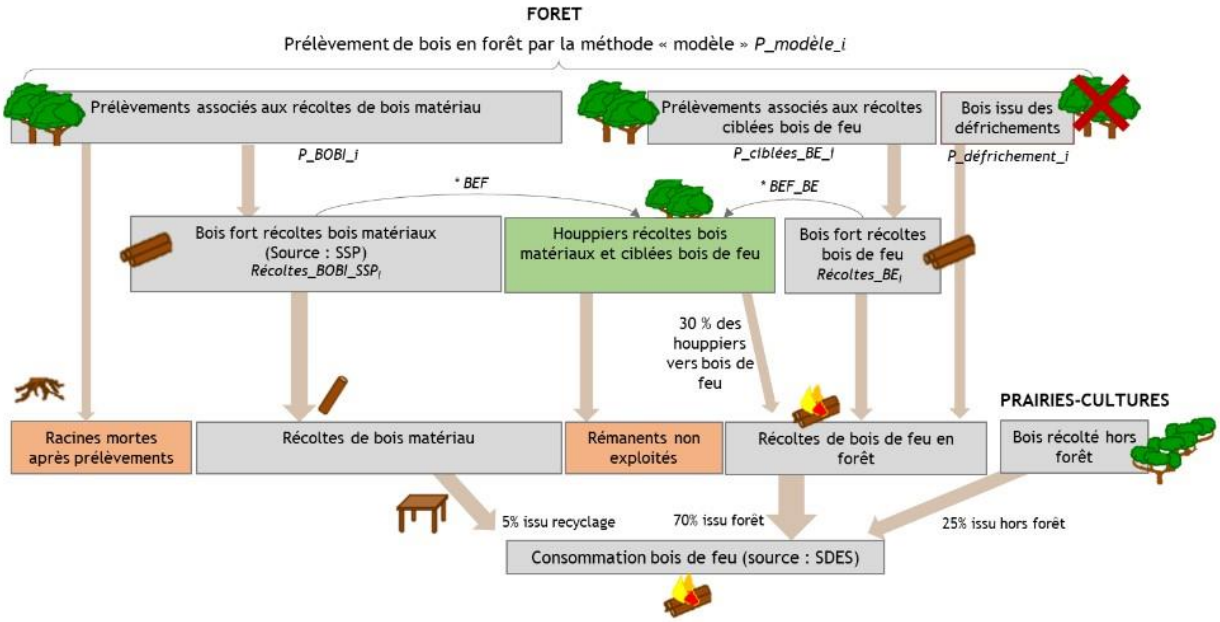



**Figure 199: Représentation schématique de la méthode (dite « modèle ») d'estimation des émissions liées aux récoltes de bois)**

*Méthode « modèle » - facteurs d'expansion et de conversion du bois*

Pour les résultats produits par l'IGN, les volumes de biomasse totale sont obtenus par des tarifs de cubage [595] à savoir des équations qui peuvent s'appliquer aux caractéristiques de chaque arbre (espèce, circonférence, hauteur). Dans la méthode « modèle » il n'est pas possible d'utiliser ces tarifs de cubage, le Giec propose donc l'utilisation de facteurs d'expansion de biomasse (BEF). Malheureusement ces BEF sont très difficiles à appliquer en dehors de leur propre périmètre d'étude. Pour cette raison, dans la méthode « modèle » les BEF utilisés sont des BEF spécifiques à la forêt française calculés à partir de la ressource sur pied et des tarifs de cubage utilisés par l'IGN. Les facteurs actuellement utilisés dans l'inventaire sont fournis par l'IGN, ils sont très proches des résultats disponibles dans le rapport CARBOFOR [204].

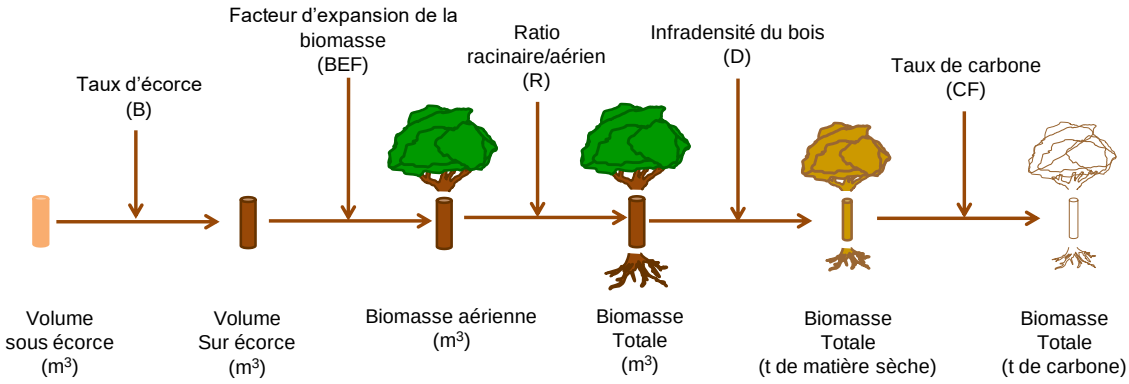
**Tableau 269 : Facteurs d'expansion utilisés pour les prélèvements de bois matériau**

| | PUREMENT FEUILLU | MIXTE | PUREMENT CONIFERE | PEUPLERAIE |
|---|---|---|---|---|
| CENTRE-EST | 1,65 | 1,45 | 1,27 | 1,42 |
| NORD-EST | 1,56 | 1,47 | 1,25 | 1,42 |
| NORD-OUEST | 1,59 | 1,53 | 1,30 | 1,42 |
| SUD-EST | 1,94 | 1,62 | 1,39 | 1,42 |
| SUD-OUEST | 1,66 | 1,52 | 1,31 | 1,42 |
| **FRANCE** | **1,63** | **1,50** | **1,30** | 1,42 |

Pour les facteurs d'expansion souterraine, plusieurs classes sont également distinguées. Les valeurs de 1,28 et 1,30 ont respectivement été retenues pour les peuplements de feuillus et de conifères [204].

Dans le cas des forêts mixtes et du bois de feu, dans la mesure où la composition des essences récoltées n'est pas connue, les facteurs d'expansion retenus sont une valeur moyenne pondérée des facteurs d'expansion pour les feuillus et les conifères. Ces valeurs sont sensiblement variables suivant les années et valent approximativement 1,5 pour le facteur d'expansion branches et 1,29 pour le facteur d'expansion racine. Il en est de même pour la valeur d'infradensité.

**Figure 200 : Conversion de volumes de bois commercialisés en carbone**




Les données sur l'infradensité de la biomasse sont spécifiques à chaque essence, aussi bien pour l'estimation de l'accroissement que pour les prélèvements.

**Tableau 270 : Infradensité utilisées pour les principales essences [598]**

| Essence | Densité en tMS/m$^3$ | Essence | Densité en tMS/m$^3$ |
|---|---|---|---|
| chêne | 0,56 | sapin, épicéa | 0,38 |
| hêtre | 0,56 | douglas | 0,41 |
| châtaignier | 0,50 | pin maritime | 0,44 |
| peuplier | 0,36 | pin sylvestre | 0,43 |

Les travaux conduits dans le cadre du projet CARBOFOR ont également permis de retenir une valeur de teneur en carbone de la biomasse ligneuse plus adaptée au cas français. La valeur retenue dans les inventaires est de 0,475 très proche de la valeur de 0,47 retenue par le Giec 2006 par défaut.

*Combinaison de l'approche « modèle » et de l'approche « directe »*

Il existe donc deux méthodes pour estimer les prélèvements en forêt, la méthode « modèle » basée sur les lignes directrices du Giec 2006 et la méthode « directe » de mesure des prélèvements par l'IGN. Ces deux méthodes sont combinées dans l'inventaire de GES actuel et les prélèvements sont estimés à partir de l'équation suivante.

**Équation 19 (Forêts)**

$Prélèvement_i = P_modèle_i \bullet P_Foret_IGN_{2005/20xx} / P_modèle_{2005/20xx}$

Avec :

$Prélèvement_i$ = Prélèvement de bois estimé pour l'année i

$P_modèle_i$ = Prélèvement de bois estimé pour l'année i à partir des données commerciales de bois matériau et des consommations de bois énergie

$P_Foret_IGN_{2005/20xx}$ = Prélèvement de bois estimé sur la période 2005-20xx par la méthode directe de l'IGN

$P_modèle_{2005/20xx}$ = Prélèvement de bois estimé sur la période 2005-20xx à partir des données commerciales de bois matériau et des consommations de bois énergie.

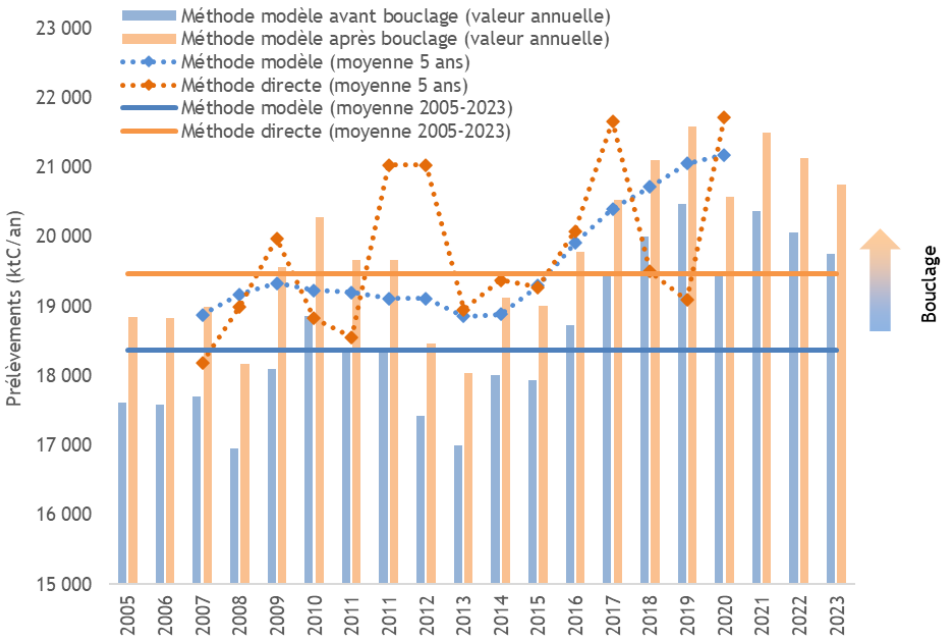



**Figure 201 : Représentation de l'ajustement sur la base des données de prélèvement direct issues de l'IFN (en tC aérien et racinaire)**

Les périmètres de calcul des prélèvements entre l'approche « modèle » et l'approche « directe » ne sont pas équivalents (voir figure ci-dessous). La méthode directe de l'IGN permet d'avoir la donnée de prélèvements totaux par campagne (volumes en forêt et terres défrichées, et indique de manière distincte un niveau moyen de la part liée aux défrichements). Ces volumes défrichés sont estimés à environ 0,94 Mm3 de bois fort tige par an en moyenne sur les années couvertes. L'IGN ne distingue pas la part de prélèvements liés aux dégâts de feux pour le moment.

Au niveau de l'approche Citepa, tous les éléments sont estimés indépendamment : récoltes ciblées en forêt, pertes liées aux feux, volumes défrichés. Afin de ne pas double-compter de prélèvements, le bouclage, ou recalage, s'effectue sur les récoltes ciblées en forêt, qui sont comparées aux prélèvements totaux IGN, auxquels sont soustraits le volume moyen défriché estimé par l'IGN, et le volume moyen des pertes incendies estimé par le Citepa sur la base des surfaces incendiées.

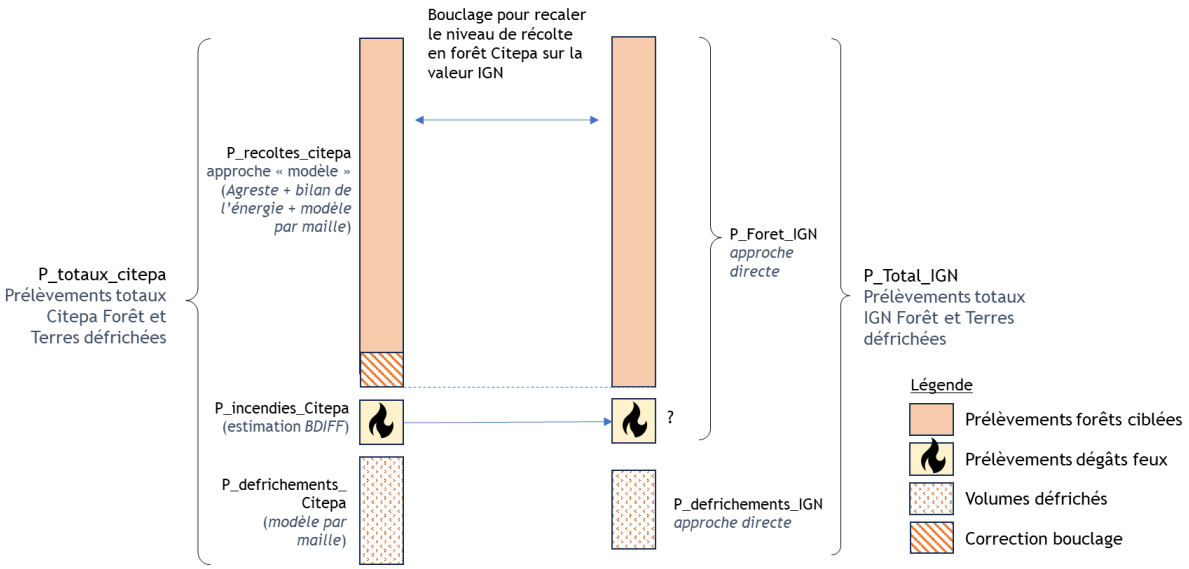



**Figure 202 : Explications recalage Récoltes Citepa sur les prélèvements IGN**

### Équation 21(Forêts)

P_total_IGN = P_Foret_IGN + P_defrichements_IGN

P_total_Citepa = P_recoltes_Citepa + P_incendies_Citepa + P_defrichements_Citepa

Bouclage des récoltes :

P_recoltes_Citepa* = (P_total_IGN - P_Defrichements_IGN – P_incendies_Citepa) * coeff_bouclage

Avec :

| | | | |
|---|---|---|---|
| P_Total_IGN | = | Prélèvement dans les forêts et sur les terres défrichées selon l'IGN, t C/an | |
| P_Foret_IGN | = | Prélèvement (dont récoltes liées aux incendies) dans les forêts, t C/an | |
| P_Défrichement_IGN | = | Prélèvement sur les terres défrichées selon l'IGN, t C/an | |
| P_total_Citepa | = | Prélèvements forêts et terres défrichées (estimation Citepa), tC/an | |
| P_recoltes_Citepa | = | Prélèvements forêts et terres défrichées (modèle récoltes Citepa), t C/an | (* : bouclé) |
| P_incendies_Citepa | = | Pertes de carbone estimées liées aux incendies (sur la base de BDIFF), t C/an | |
| P_Défrichement_Citepa | = | Prélèvement sur les terres défrichées selon le modèle par maille, t C/an | |

### Équation 20 (Forêts)

$P_FF_{ij} = Prélèvement_{ij}$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $P_FF_{ij}$ | = | Prélèvement de bois estimé en forêt restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m) |
| $Prélèvement_{ij}$ | = | Prélèvement de bois estimé, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m) |

*Calcul des prélèvements de bois des forêts restant forêts ($P_FF_{ij}$) – Outre-Mer*

En Guadeloupe, Martinique et Réunion, la forêt représente moins de 1% de la superficie forestière française totale et est très peu exploitée, avec environ 13 000 $m^3$ de récolte annuelle pour les années récentes. En Guadeloupe et Martinique il n'y a presque pas d'exploitation forestière et la récolte très faible provient de plantations d'acajou. A la Réunion l'exploitation forestière est également très faible et essentiellement basée dans les plantations de Cryptomeria. Selon les experts forestiers de l'Office National des Forêts (ONF) [533] et de l'Inventaire forestier national [534], les flux de carbone liés à la gestion des forêts sont négligeables dans ces îles.

A l'inverse, en Guyane, la forêt occupe une surface très importante avec environ un tiers de la superficie totale de la forêt française. Elle reste néanmoins peu exploitée aussi, avec environ 90 000 $m^3$ de récolte en 1990 et environ 73 000 $m^3$ pour les années récentes. Ce faible niveau d'exploitation peut s'expliquer par plusieurs raisons : la faible densité de la population, la faible valeur du bois en Guyane française comparé aux bois asiatiques ou africains, la difficulté d'accéder à la forêt, la difficulté pour transporter du bois flottant (la densité des arbres en Guyane française est souvent supérieure à 1).

**Tableau 271 : Données forestières pour les départements d'Outre-mer**

| | Guadeloupe | Martinique | Guyane | La Réunion | Métropole |
|---|---|---|---|---|---|
| Surface (1000 ha) | 64 | 49 | 8 082 | 88 | 15 500 |
| Stock (1000 m3) | 26 000 | 15 000 | 2 829 000 | 17 000 | 2 500 000 |
| Récolte (1000 m3) memento | <0.5 | 2 | 73 | 11 | 45 000 |
| Récolte IGD 2015 (1000 m3) | 17 | 13 | 80 | | 51 000 |

Sources : Mémento Agreste Filière Forêt-Bois édition 2012 [532], IGN/IFN [202], Indicateurs de Gestion Durable 2015 [1270]

Cette faible exploitation des forêts ultramarines est illustrée par l'absence d'inventaire forestier et par les quelques données de récolte disponibles. En 2012, la récolte annuelle sur ces quatre territoires cumulés est estimée à 86 000 $m^3$ de bois. A titre de comparaison la récolte dans la partie métropolitaine est estimée à environ 45 000 000 $m^3$, ce qui signifie que la récolte dans les territoires d'outre-mer correspond à environ 0,2% de la récolte totale. Ramené au stock de biomasse en forêt, le pourcentage de prélèvement est encore plus faible dans la mesure où les stocks de carbone par hectare sont très élevés en Guyane française. En actualisant ces données, le pourcentage de 0,2% reste valable.

Considérant que le niveau de récolte est très faible et qu'il est difficile actuellement d'estimer précisément les accroissements dans les autres territoires d'Outre-mer, il a été jugé préférable, par les experts forestiers français [533, 534], d'appliquer un principe de prudence et de considérer que la croissance de la forêt permet seulement de compenser la récolte.

*Calcul de la mortalité des forêts restant forêts (Mortalité_$FF_{ij}$)*

La mortalité est répartie entre les forêts restant forêts et les terres devenant forêt grâce à l'équation suivante.

**Équation 21 (Forêts)**

$$Mortalité_FF_{ij} = Mortalité_{ij} \bullet A_FF_{ij} \bullet Mort_FF_{ij} / (A_FF_{ij} \bullet Mort_FF_{ij} + A_AF_{ij} \bullet Mort_AF_{ij})$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $Mortalité_FF_{ij}$ | = | Mortalité normalisée moyenne annuelle en matière sèche (MS) sur les forêts restant forêt, par type de forêt (i = 1 to n) et par zone climatique (j = 1 to m), t MS/ha/an |
| $Mortalité_{ij}$ | = | Mortalité moyenne annuelle en MS sur les forêts, t MS/an |
| $A_FF_{ij}$ | = | Surfaces des forêts restant forêts, ha |
| $A_AF_{ij}$ | = | Surfaces des terres devenant forêts, ha |
| $Mort_FF_{ij}$ | = | Mortalité moyenne annuelle en MS sur les forêts restant forêt, t MS/ha/an |
| $Mort_AF_{ij}$ | = | Mortalité moyenne annuelle en MS sur les terres devenant forêt, t MS/ha/an+ |

*Mortalité normale des forêts restant forêt*

La mortalité normale, de fond, des forêts est estimée directement par l'IGN dans son inventaire forestier. Elle est fournie par interrégion et estimée pour l'année médiane de chaque campagne de cinq ans de l'IFN (§2.2.2.3).

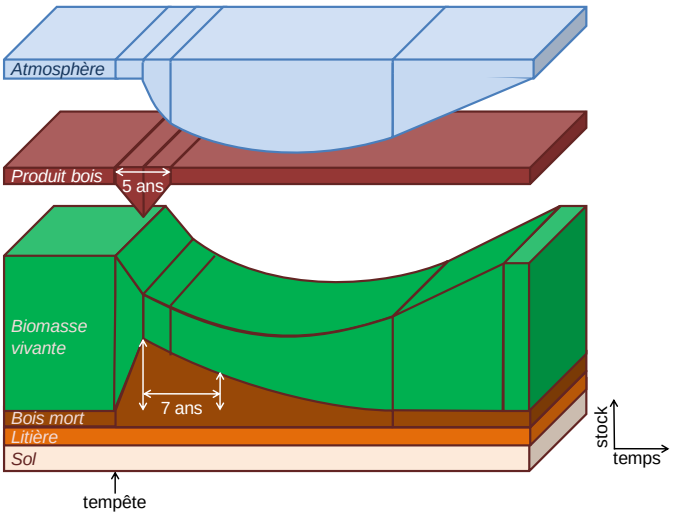
*Mortalité exceptionnelle - tempêtes*

En plus de la mortalité « normale » des forêts, les tempêtes exceptionnelles affectent brusquement et souvent durablement les stocks de carbone forestier. Depuis 1990, la France a été touchée deux fois par des épisodes de tempêtes importants :

- En décembre 1999, les tempêtes Lothar et Martin ont touché quasi intégralement le territoire métropolitain et ont provoqué d'énormes dégâts notamment en Aquitaine et en Lorraine. Le bilan global s'élève à environ 175 $Mm^3$ de chablis (en bois fort) selon les estimations de l'IFN.
- En janvier 2009, la tempête Klaus a également détruit de nombreuses surfaces forestières ; elle a touché le sud-ouest de la France et en particulier le massif forestier des Landes. Le bilan global s'élève à environ 42,5 $Mm^3$ de bois à terre (en bois fort).

L'équation 2.14 du Giec 2006 [672] qui se base sur les superficies affectées par les perturbations naturelles n'est pas utilisée pour prendre en compte l'effet des tempêtes exceptionnelles car il existe des données statistiques qui renseignent directement les volumes de chablis (IGN) et sur les volumes de chablis prélevés (SSP et IGN). Les volumes de chablis prélevés sont donc inclus dans les prélèvements de bois.

**Figure 203 : Représentation de l'évolution des stocks de carbone suite à une tempête**




Suite aux tempêtes, l'ensemble des chablis ne peut être mobilisé : ces tempêtes génèrent donc une augmentation brusque du bois mort en forêt. Ce bois mort se dégrade au cours du temps et génère un flux de $CO_2$ vers l'atmosphère qui tend à rétablir un niveau d'équilibre pour le stock de bois mort en forêt. Contrairement à la mortalité de fond où le flux est annuel, dans l'inventaire français cette dégradation du bois mort est supposée suivre une cinétique classique d'ordre 1 à partir d'une durée de dégradation moyenne de 10 ans pour le bois mort. Cela correspond, pour le stock de bois mort excédentaire, à une valeur de demi-vie (temps pour que le stock diminue de moitié) de l'ordre de 7 ans (cf. schéma ci-dessus sur l'évolution des stocks de carbone suite à une tempête).

**Équation 22 (Forêts)**

$$L_{disturbances} = (Chablis - Chablis_{prélevé}) \bullet \exp(-k \bullet n)$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $L_{disturbances}$ | = | Pertes de carbone annuelle, tC/an |
| Chablis | = | Quantité de carbone dans les chablis, tC |
| $Chablis_{prélevé}$ | = | Quantité de carbone dans les chablis récoltés après tempête, tC |
| k | = | 0,1 $an^{-1}$(=1/10 ans) |
| n | = | Nombre d'années écoulées depuis la tempête |

*Calcul des émissions liées au brûlage sur site des résidus de récolte de bois*

Le brûlage sur site réalisé au cours de la récolte de bois est pris en compte et génère différents gaz à effet de serre directs et indirects, ainsi que des polluants ($N_2O$, NOx, CO et $CH_4$) en plus du $CO_2$. Le volume de bois brûlé sur site est mal connu. Les experts terrains rapportent que la pratique de brûlage n'est plus pratiquée, et souvent interdite par des arrêtés préfectoraux. Des dérogations étant possibles, cette valeur conservatrice de 5 % est conservée. Puis, les émissions sont estimées à partir des facteurs d'émission du GIEC 2006.

**Équations 23 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.27 du Giec 2006 [672])**

$$Emissions = Quantité_brulée \bullet Facteur_oxydation \bullet Facteur_Emission$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| Emissions | = | Emissions de $CH_4$, $N_2O$, CO et NOx, t |
| Quantité_brulée | = | Quantité de matière sèche mise à brûler, t MS |
| Facteur_oxydation | = | Part de la matière sèche réellement brûlée (valeur utilisée : 90%) |
| Facteur_Emission | = | Facteur d'émission en kg / t brûlée ($CH_4$ = 4.7 // CO = 107 // NOx = 3 // $N_2O$ = 0.26) |

*Calcul des émissions liées aux incendies de forêt*

Les feux de forêts génèrent des perturbations importantes des stocks de carbone forestier. Ils provoquent des flux très variables et parfois importants de $CO_2$ de la biomasse vivante vers l'atmosphère.

La combustion de biomasse lors des feux de forêt génère des émissions de différents polluants : $SO_2$, NOX, COVNM, CO, $NH_3$, particules. Par ailleurs, du fait de la présence de certains métaux ou éléments dans la biomasse, des émissions de métaux lourds et de certains polluants organiques persistants sont aussi possibles. Parmi elles, seules les émissions de HAP et de PCDD-F sont estimées.

*Données de surface*

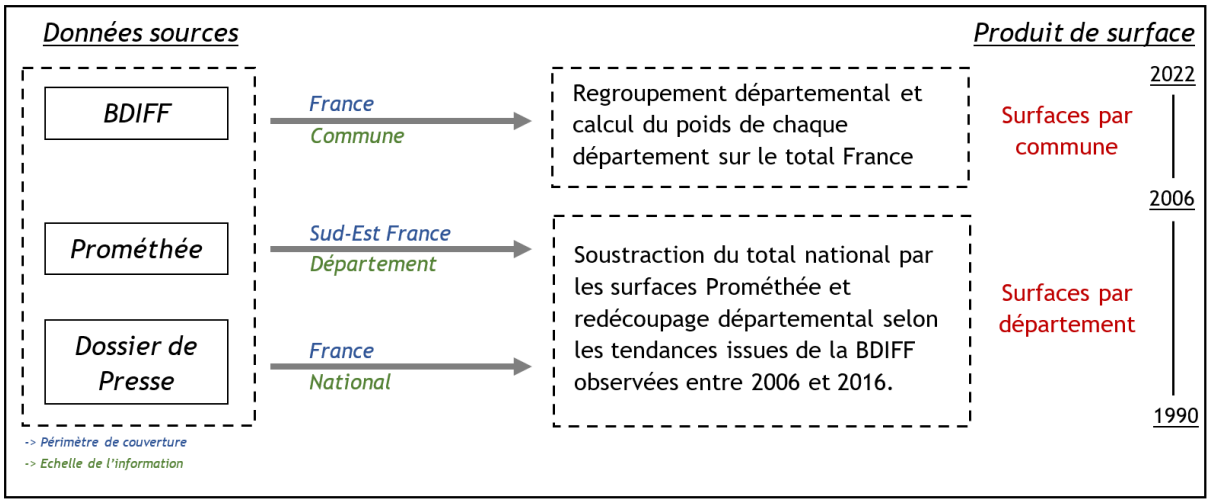
La constitution des surfaces pour la série temporelle de 1990 à aujourd'hui repose sur trois principales sources de données :

- La Base de données des feux de forêt en France (BDIFF) [723] qui couvre l'ensemble de la France métropolitaine depuis 2006 avec un niveau d'information renseigné à l'échelle de la commune.
- La base de données « Prométhée » [297], créée en 1973 cette base de données renseigne les feux de forêt et de garrigue uniquement sur certains départements du Sud-Est de la France.
- Des dossiers et communiqués de presse émanent du ministère de l'Agriculture [298], Ministère de la Transition Ecologique et/ou de certains département et région d'outre-mer.

Les surfaces incendiées sont regroupées au sein d'entités géographiques les plus homogènes possible qui varient selon la source d'information. L'ensemble de la série temporelle est reconstitué comme suit, de façon antéchronologique :

- 2022 à 2006 : Utilisation des données issues de BDIFF pour l'ensemble de la France métropolitaine disponibles à l'échelle communale.
- 2006 à 1990 : La base de données Prométhée fournit les surfaces incendiées pour 15 départements du sud-est. Le total des surfaces Prométhée est soustrait au total de surface métropole renseigné par le Dossier de Presse ministériel, le résultat est ensuite découpé à l'échelle départementale selon le poids de chaque département déterminé à partir des données réelles observées entre 2006 et 2016 issues de la BDIFF.

**Figure 204 : Méthodologie utilisée pour la reconstitution des surfaces incendiées en forêt depuis 1990.**




La précision des données de la BDIFF, depuis 2006, apporte des informations supplémentaires sur le type de surfaces incendiées au sein de la catégorie « feux de forêt ». On distingue ainsi trois grandes catégories de surfaces : les surfaces strictement « en forêt » et les surfaces dites « hors forêt » composées d'incendies sur des terres boisées et des terres non boisées. Cette distinction étant seulement disponible après 2006, le profil de type de surfaces brûlées par région post 2006 est appliqué aux années antérieures.

En Outre-mer appartenant à l'UE, différentes sources sont utilisées pour estimer les surfaces brûlées : la BDIFF [723], la DRAAF Réunion [601] pour cette île qui est le seul territoire d'Outre-Mer fréquemment sujette à des incendies ; et divers documents officiels [724, 725, 726] pour tenir compte de la particularité de ces territoires (cultures sur brûlis, feux de brousse). En Outre-mer hors UE, des surfaces brulées sont uniquement rapportées en Nouvelle-Calédonie, sur la base de produits satellites (MODIS [1205]).

**Tableau 272 : Surfaces incendiées en France depuis 1990**

| ANNEE | METROPOLE | METROPOLE | OUTRE-MER | OUTRE-MER |
|---|---|---|---|---|

| | (Zone Prométhée) | (Zone hors Prométhée) | (inclus dans l'UE (périmètre Kyoto) | (hors UE - PTOM) |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 53 897 | 18 728 | 1 055 | 15 597 |
| 1991 | 6 549 | 3 581 | 1 036 | 15 597 |
| 1992 | 12 765 | 3 828 | 1 055 | 15 597 |
| 1993 | 11 901 | 4 797 | 1 043 | 15 597 |
| 1994 | 22 605 | 2 390 | 1 033 | 15 597 |
| 1995 | 9 988 | 8 149 | 1 067 | 15 597 |
| 1996 | 3 119 | 8 281 | 1 502 | 15 597 |
| 1997 | 12 250 | 9 331 | 1 015 | 15 597 |
| 1998 | 11 243 | 8 039 | 1 111 | 15 597 |
| 1999 | 12 782 | 3 124 | 1 808 | 15 597 |
| 2000 | 18 860 | 5 218 | 1 021 | 1 542 |
| 2001 | 17 965 | 2 677 | 1 094 | 5 648 |
| 2002 | 6 298 | 23 871 | 1 080 | 38 424 |
| 2003 | 61 424 | 11 576 | 1 013 | 17 875 |
| 2004 | 10 596 | 3 104 | 1 018 | 31 481 |
| 2005 | 17 356 | 5 044 | 1 068 | 13 843 |
| 2006 | 5 234 | 1 790 | 1 082 | 14 343 |
| 2007 | 6 343 | 712 | 1 013 | 5 415 |
| 2008 | 3 491 | 1 219 | 1 052 | 3 117 |
| 2009 | 10 751 | 3 768 | 1 065 | 11 575 |
| 2010 | 5 897 | 2 627 | 1 989 | 10 010 |
| 2011 | 3 993 | 2 807 | 3 728 | 13 850 |
| 2012 | 3 858 | 3 715 | 1 735 | 4 232 |
| 2013 | 1 838 | 895 | 613 | 12 170 |
| 2014 | 3 814 | 919 | 1 584 | 16 103 |
| 2015 | 2 771 | 4 951 | 1 414 | 15 836 |
| 2016 | 12 039 | 2 049 | 1 103 | 16 785 |
| 2017 | 19 335 | 3 708 | 318 | 38 026 |
| 2018 | 2 995 | 942 | 634 | 10 361 |
| 2019 | 7 758 | 5 371 | 2 168 | 39 536 |
| 2020 | 7 131 | 3 679 | 491 | 5 892 |
| 2021 | 10 509 | 2 327 | 360 | 17 065 |
| 2022 | 14 680 | 44 012 | 295 | 2 283 |
| 2023 | 3 715 | 1 098 | 305 | 20 000 |

*Estimation des émissions de GES : $CO_2$, $CH_4$ et $N_2O$*

Les émissions sont estimées au moyen de facteurs d'émissions spécifiques à chaque type de surface et à chaque compartiment carbone. Pour la biomasse par exemple, les émissions dépendent de la quantité de matière sèche effectivement brûlée et sont calculées selon l'équation suivante (Giec, 2006) :

**Equation 24 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.14 du Giec 2006 [672])**

$$L_{wild_fires} = \Sigma_i A_{burnt(i)} \bullet BW_i \bullet Frac_burn_i \bullet CF$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $L_{wild_fires}$ | = | Pertes de carbone annuelle liée aux feux, t C/an |
| i | = | Sylvoécorrégion (85 sylvoécorégions en France métropolitaine) |
| $A_{burnt(i)}$ | = | Surface brûlée annuelle dans la sylvoécorégion i, ha |
| $BW_i$ | = | Stock de biomasse aérienne sur les surfaces brûlées dans la sylvoécorégion i, t MS/ha |
| Frac_burn | = | Fraction de la biomasse effectivement brûlée brûlées dans la sylvoécorégion i |
| CF | = | Fraction en carbone de la biomasse, t C/t MS (0,475) |

Pour les autres compartiments, le principe est similaire mais se base sur un stock en quantité de carbone directement. Les stocks par compartiment carbone sont spécifiés par types de surfaces (forêt, terres boisées et terres non boisées) et par sylvo-écorégion ou par GRECO (grande région écologique) sur la base des stocks utilisés dans le modèle de variation par maille (voir section UTCATF - général).

**Tableau 273: Stocks par compartiment et type de surface brûlée utilisés pour le calcul des émissions liées aux feux de forêts**

| Stocks par compartiment carbone (en tMS ou tC) | Surfaces en forêt | Surfaces en terres boisées hors forêt | Surfaces en terres non boisées |
|---|---|---|---|
| Biomasse aérienne ligneuse | 129 tMS/ha (40 – 247) [1] | 15 tMS/ha Médinet, 2018 - Shrubland [993] | 0 tC/ha |
| Feuillage | *Non estimé* | *Non estimé* | 0 tC/ha |
| Biomasse herbacée | *Non estimé* | *Non estimé* | 4,1 tMS/ha Giec, 2006 - Grassland tempéré [437] |
| Litière | 8,5 tC/ha (6,3 – 12,7) [2] | *Non estimé* | 0 tC/ha |
| Bois mort | *Non estimé* | | |
| Racines | *Non estimé* | | |
| Sol minéraux (0-30cm) | *Non estimé* | | |

[1] *moyenne, min et max par sylvoécorégions [voir section UTCATF -général]*
[2] *moyenne, min et max par GRECO [voir section UTCATF -général]*

Un facteur de combustion (Frac Burn) est ensuite appliqué à chaque compartiment carbone pour estimer les pertes par combustion.

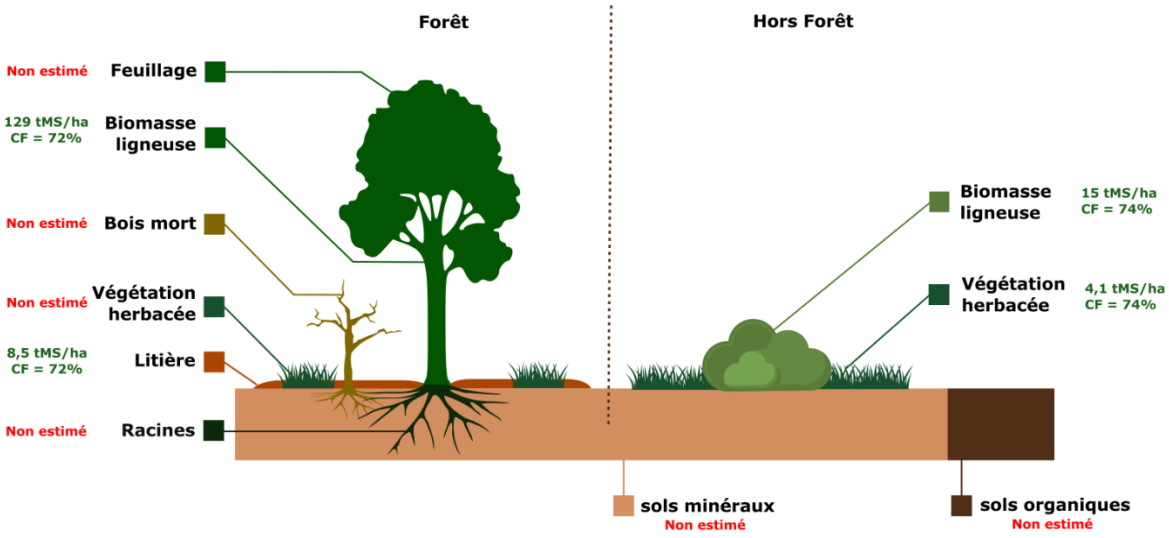
**Tableau 274 : Facteurs de combustion par compartiment carbone en fonction des surfaces incendiées**

| Stocks par compartiment carbone (en tMS ou tC) | Surfaces en forêt | Surfaces en terres boisées hors forêt | Surfaces en terres non boisées | Végétation Tropicale |
|---|---|---|---|---|
| Biomasse aérienne ligneuse | 21% (10% - 27%) * | 72% Giec, 2006 - Table 2.6 [437] | - | 20% [795] |
| Végétation herbacée | Non estimé | Non estimé | 74% Giec, 2006 - Table 2.6 [437] | 77% [437] |
| Litière | 76% (70% - 90%) * | Non estimé | - | Non estimé |

** Pour les surfaces en forêt les facteurs de combustion sont estimés en fonction des peuplements pour chaque GRECO à partir des données issues de Mouillot et al., 2006 (Table 2) [1276].*

Pour chaque ancienne région, des facteurs d'émissions liés au profil de végétation brûlée, aux stocks de référence et aux fractions brûlées sont déduits sur la période post 2006. Ils sont réutilisés pour la période 1990-2006, et appliqués aux surfaces estimées hors BDIFF pré 2006.

**Figure 205 : Synthèse des compartiments carbone estimés dans le calcul feux de forêt**




Les facteurs d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants pour les feux sont présentés plus bas.

***Biomasse morte (terres forestières restant terres forestières) [dw] [lt]***

*Calcul de la variation de stock ($\Delta CFF_{DOM}$)*

Les variations de stock de carbone pour la biomasse morte sont ensuite décomposées entre bois mort et litière.

**Équation 25 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.17 du Giec 2006 [672])**

$$\Delta CFF_{DOM} = \Delta CFF_{DW} + \Delta CFF_{LT}$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta CFF_{DOM}$ | = | Variation annuelle de stock dans la biomasse morte dans les forêts restant forêts, t C/an |
| $\Delta CFF_{DW}$ | = | Variation de stock dans le bois mort dans les forêts restant forêts, t C/an |
| $\Delta CFF_{LT}$ | = | Variation de stock dans la litière dans les forêts restant forêts, t C/an |

***Bois mort (terres forestières restant terres forestières) [dw]***

La méthode générale d'estimation de la variation de bois mort est la suivante :

**Équation 26 (Forêts) (Méthode des flux inspirée de l'équation 2.19 du GIEC 2006 [672])**

$$\Delta CFF_{DW} = \Delta CFF_{modele} + ( [A \bullet (B_{t2} - B_{t1}) / T] \bullet CF - \Delta CFF_{modele})$$

Avec :

| | |
|---|---|
| $\Delta CFF_{DW}$ | Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les forêts restant forêt, tC/an |
| $\Delta CFF_{modele}$ | Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les forêts restant forêt issue du modèle de variation de stock à la maille, tC/an |
| A | Surface de forêt gérée restant forêt, ha |
| $B_{t1}$ | Stock de carbone dans le bois mort à l'instant t1 pour les forêts gérées restant forêt, t MS/ha |
| $B_{t2}$ | Stock de carbone dans le bois mort à l'instant t2 pour les forêts gérées restant forêt, t MS/ha |
| CF | Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS |
| T | Période (t2 – t1), an |

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les terres forestières restant terres forestières, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de bois mort. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF – général*), et peuvent être non nuls car les stocks de référence de carbone dans le bois mort diffèrent selon les sous-catégories de forêts. Ils sont retranchés de la variation de stock de bois mort générale (bottom-up par mesure des stocks observés) pour ne pas être double-comptés.

*Flux estimés en complément*

Puis, des flux additionnels sont appliqués, en lien avec la mortalité et les tempêtes.

*Données et hypothèses*

Il était auparavant considéré que les flux entrants et sortants dans le compartiment bois mort étaient de même ordre, étant donné la dynamique plutôt stable de la mortalité. Une hypothèse de stabilité était appliquée pour ce compartiment hors épisode de tempêtes (voir § 2.4.1.2.3). Or, avec l'augmentation forte de la mortalité dans les années post 2015, et la disponibilité des données sur les mesures de stock de bois mort, une nouvelle méthodologie de variation de stock est mise en place.

Dans les inventaires français, les paramètres $B_{t1}$ et $B_{t2}$ sont estimés à partir des mesures de stock de bois mort mesuré sur les placettes de l'IGN.

Les stocks transmis par l'IGN sont des stocks annuels en $m^3$, par type de bois mort sur la période 2008-2023, en cohérence avec la méthodologie des Indicateurs de Gestion Durable de l'IGN (IGD 4.5) et les transmissions par campagnes 5 ans pour l'accroissement et la mortalité [1350]. Le stock est attribué à l'année médiane. Quand les données ne sont pas disponibles, une extrapolation est réalisée indexée sur l'évolution de la mortalité.

Ces stocks comprennent :

- Le volume aérien et racinaire des arbres morts sur pied (tiges et racines, les branches étant comptabilisées dans le bois mort au sol) ;
- Le volume aérien et racinaire des chablis (tiges et racines, les branches étant comptabilisées dans le bois mort au sol) ;
- Le volume de bois mort au sol.

Ils ne comprennent pas les racines et souches des arbres prélevés.

Un traitement a été réalisé en début de série pour ne pas double-compter les chablis de la tempêtes Klaus de 2009, et les émissions liées à la dégradation des chablis estimées en parallèle (voir section suivante).

**Tableau 275 : Stocks de bois mort issus utilisés pour le calcul des flux en forêt restant forêt – transmission spécifique de l'IGN à partir de la méthodologie IGD 4.5 [1350]**

| Année de référence | Stock total de bois mort (m3) |
|---|---|
| 2008 | 391 641 380 |
| 2009 | 428 712 470 |
| 2010 | 417 352 291 |
| 2011 | 412 409 583 |
| 2012 | 414 325 003 |
| 2013 | 408 789 672 |
| 2014 | 413 438 037 |
| 2015 | 392 989 886 |
| 2016 | 404 969 135 |
| 2017 | 381 907 158 |
| 2018 | 404 336 679 |
| 2019 | 438 314 143 |
| 2020 | 450 409 285 |
| 2021 | 477 071 440 |
| 2022 | 501 548 739 |
| 2023 | 540 657 945 |

*Cas des tempêtes*

Les tempêtes exceptionnelles (voir §2.3.3.3.3) génèrent des augmentations brusques et temporaires du stock de bois mort (chablis). Dans ces cas une méthode des flux est appliquée avec une estimation du paramètre $B_{into}$ basée sur les dégâts observés après tempête et $B_{out}$ sur le stock de bois mort supplémentaire associé à une cinétique de décomposition mort.

***Litière (terres forestières restant terres forestières) [lt]***

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les terres forestières restant terres forestières, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de litière. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF – général).

*Flux estimés en complément*

Le compartiment litière subit des pertes par combustion lors d'un feu de forêt. Ces pertes sont estimées à environ 72% des stocks de matières organiques du compartiment litière (variable selon le peuplement) [1277]. Ces émissions sont estimées dans la partie relative aux incendies en forêt restant forêt. La prise en compte des pertes par combustion pour le compartiment litière implique l'estimation d'un regain de carbone pour reconstituer les stocks perdus. Par conséquent, un regain est estimé et lissé sur une période de 20 ans jusqu'à atteinte des stocks de référence de chaque grande sylvoecorégion.

*Discussion*

Une étude [602] a également été réalisée par l'ONF et l'université de Louvain sur les placettes du réseau de suivi forestier RENECOR pour connaître l'évolution du stock de carbone dans la litière et dans les sols. Cette étude a été lancée par le ministère de l'Agriculture français en vue de répondre aux exigences de rapportage sur le suivi de certains réservoirs de carbone. Pour la litière, cette étude conclut que les stocks de carbone sont significativement à la hausse même si elle ne permet pas de définir quantitativement l'amplitude de cette hausse sur la période d'étude. Cette étude permet de justifier que l'hypothèse de stabilité des litières dans l'inventaire français est une hypothèse conservatrice.

***Matière organique du sol (terres forestières restant terres forestières) – sols minéraux [s_min]***

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les terres forestières restant terres forestières, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de carbone dans les sols. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (voir section UTCATF – général), ils sont a priori toujours nuls car les stocks de référence de carbone dans les sols ne varient pas entre sous-catégories de forêts, ni dans le temps.

Le Giec propose une estimation des stocks de carbone sur la base de stocks de référence associé à des facteurs correcteurs liés à la gestion. Aucune information n'a été identifiée permettant de traduire l'évolution de ces modes de gestion en forêt, les stocks de carbone des sols sont donc stables au cours du temps en l'absence de changement d'utilisation des terres. Il est considéré que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps.

*Flux estimés en complément*

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment. Sans changement entre sous-catégories, ce stock est supposé constant (hypothèse de stabilité) et aucun flux n'est donc pris en compte. L'évolution de l'intensité sylvicole et ses impacts sur les sols ne sont pour l'instant pas estimés.

*Discussion*

Les données disponibles actuellement sont :

- les données du RMQS, disponibles pour l'instant pour une seule campagne (2000-2009). Une deuxième campagne, en cours, devrait permettre d'obtenir des variations de stocks, qui, si elles sont significatives, seront mobilisables dans l'inventaire. Actuellement, le RMQS ne permet pas d'estimer un flux de carbone dans les sols forestiers sans changement.
- les données issues du réseau de suivi forestier RENECOFOR, qui n'est pas complètement représentatif de l'ensemble de la forêt française. Une étude [602] menée par l'ONF et l'université de Louvain sur les placettes du réseau conclut que les sols forestiers français peuvent être considérés de manière significative comme des puits de carbone. Les taux estimés sur une période de 15 ans sont de 0,19 tC/ha/an sous feuillus et 0,49 tC/ha/an sous résineux [602]. Ces facteurs d'absorption ont été jugés non représentatifs de l'ensemble des forêts françaises et ne sont pas exploités directement dans les inventaires de GES ; même si certaines études extrapolent les résultats obtenus sur le réseau RENECOFOR tout en appliquant une marge d'incertitude [994]. En revanche, cette étude permet de justifier l'hypothèse de neutralité en assurant qu'il s'agit d'une hypothèse conservatrice, puisque les sols forestiers seraient des puits de carbone. Une estimation fiable n'est simplement pas faisable à ce stade.

#### 1.1.1.16 Terres devenant forêts (4A2)

***Biomasse vivante (terres devenant terres forestières) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]***

*Calcul de la variation de stock ($\Delta CLF_{LB}$)*

Pour rappel, les flux concernant la biomasse vivante de type forêt sont distingués des flux de biomasse vivante type cultures pérennes et type herbacées. Le stock de carbone de biomasse vivante de type forêt évolue au cours du temps : ses variations sont estimées à partir des accroissements et de la mortalité. Il est considéré que les terres dont l'usage forêt est inférieur à 20 ans ne font pas l'objet de récoltes.

**Équation 27 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.4 du Giec 2006 [672])**

$$\Delta CLF_{LB} = \Delta CFF_{modele} + (\Delta CLF_G - \Delta CLF_L)$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta CLF_{LB}$ | = | Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an |
| $\Delta CLF_{modele}$ | = | Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, issue du modèle de variation de stock à la maille, t C/an |
| $\Delta CLF_G$ | = | Gain annuel en carbone de la biomasse vivante type forêt, t C/an |
| $\Delta CLF_L$ | = | Perte annuelle en carbone de la biomasse vivante type forêt, t C/an |

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les terres non forestières devenant terres forestières on estime les pertes et gains de biomasse en différenciant différents types de biomasse : biomasse ligneuse type forêt [lb_f], biomasse ligneuse type culture pérenne [lb_cp],

biomasse herbacée type culture annuelle [lb_ca] et biomasse herbacée type herbe [lb_hh]. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF – général*).

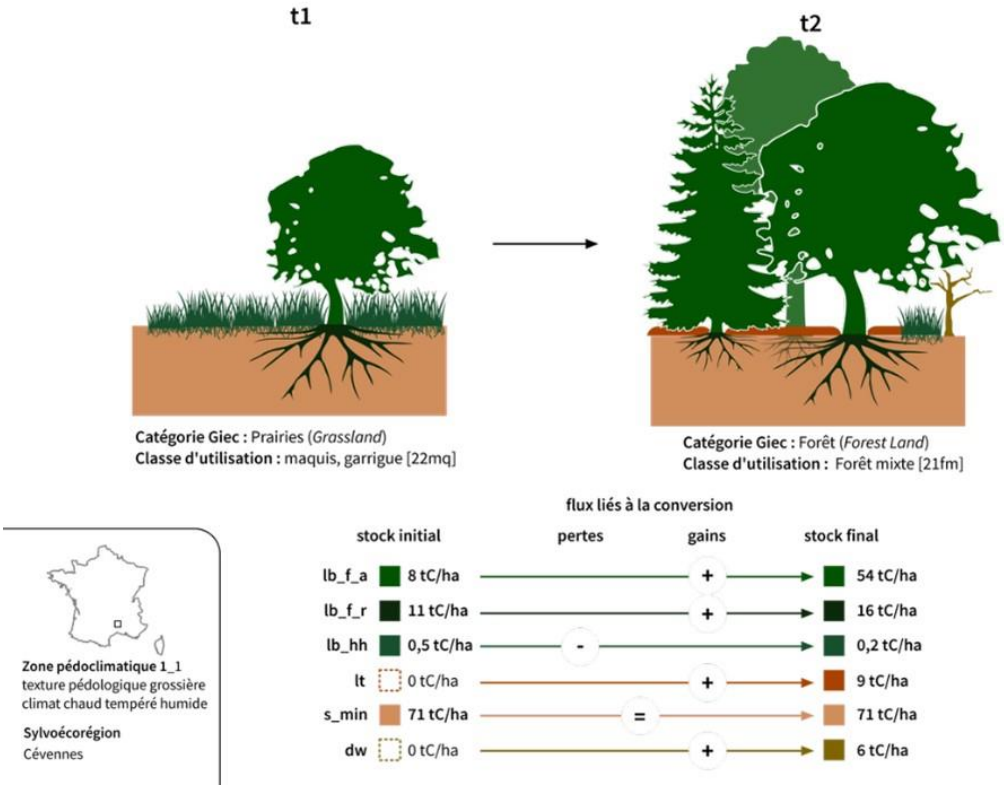



**Figure 206 : Exemple de conversion d'un maquis en forêt et flux de carbone estimés par le modèle de variation de stock à la maille pour l'ensemble des compartiments**

*Flux estimés en complément*

Des flux de mortalité sont estimés en complément uniquement pour la biomasse vivante de type forêt.

*Gains ($\Delta CLF_G$)*

Pour estimer l'accroissement des arbres sur les terres devenant forêts, le Giec distingue deux cas : les terres gérées de manière intensive incluant les plantations et les terres gérées de manière extensive. Dans l'inventaire français il n'a pas été possible de distinguer ces deux cas. Les gains de carbone sur ces terres sont donc calculés à partir du modèle de variation de stock à la maille par type de peuplement pour tous les types de biomasse vivante.

- Pour la biomasse vivante de type forêt, une terre devenant forêt visera le stock de référence de la sylvoécorégion et l'atteindra au bout de 40 ans si elle ne change pas d'usage avant cela (les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la partie *4A. Terres forestières*).
- En forêt, il n'y a pas de cultures pérennes, par conséquent les gains en biomasse vivante de type cultures pérennes sont toujours nuls. Cela est vrai également pour la biomasse vivante herbacée de type cultures annuelles.
- En revanche, des flux sont calculés pour les gains de biomasse herbacée de type herbe lors des conversions. Il suffit que l'usage initial de la maille ait un stock inférieur au stock de référence forestier.

*Pertes ($\Delta CLF_L$)*

Pour les pertes de carbone sur les terres devenant forêts l'équation suivante est utilisée. Cette équation est appliquée dans l'inventaire français avec $n$ = 4 types de forêt (feuillus, résineux, mixtes et peupliers) et $m$ = 5 régions climatiques (Nord-Ouest, Nord-Est, Centre-Est, Sud-Ouest, Sud-Est).

**Équation 28 (Forêts)**

$$\Delta CLF_L = \Delta CLF_L_modele + \Sigma_{ij} (Mortalité_LF_{ij}) \bullet CF$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta CFF_L$ | = | Pertes totales |
| $\Delta CFF_L$_Modele | = | Pertes issue du modèle de variation de stock à la maille, t C/an |
| Mortalité_$LF_{ij}$ | = | Mortalité moyenne annuelle en matière sèche (MS) sur les terres devenant forêts, par type de forêt (i = 1 à n) et par zone climatique (j = 1 à m), t MS/ha/an |
| CF | = | Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS |

Des pertes de carbone sur ces terres sont calculées à partir du modèle de variation de stock à la maille par type de peuplement pour tous les types de biomasse vivante.

- Les pertes en biomasse vivante de type forêt sont toujours nulles avec le modèle car les pertes de référence pour les catégories forestières sont fixées à zéro. Ce choix a été fait pour ne pas détecter de pertes de biomasse lors de conversion entre feuillus et conifères par exemple, afin de ne pas créer de double compte avec le calcul des récoltes.
- Les pertes en biomasse vivante de type cultures pérennes sont calculées par le modèle sur la base d'une perte de la totalité de la biomasse en 1 an (20 tC/ha/an pour la biomasse aérienne et 10 tC/ha/an pour la biomasse racinaire, ce qui vide nécessairement le compartiment). Cela illustre par exemple un arrachage de vignes avant une conversion en forêt.
- De la même façon, les pertes en biomasse herbacée sont calibrées sur 1 an. Pour la biomasse type cultures annuelles, tout le stock est perdu en une année si une culture est convertie en forêt par exemple. Pour la biomasse de type herbe, la conversion se fait en 1 an vers le stock de référence forestier.

A ces pertes s'ajoutent des flux de mortalité décrits ci-dessous.

*Mortalité des terres devenant forêts (Mortalité_$LF_{ij}$)*

Dans l'inventaire français, il est considéré que tous les prélèvements ont lieu sur les forêts restant forêt, aucun prélèvement de bois n'est donc comptabilisé pour les terres devenant forêts. Seule la mortalité naturelle du peuplement est estimée dans les pertes associées à des terres devenant forêt. Les données de mortalité sur les terres devenant forêt sont fournies par l'inventaire forestier mais elles sont plus incertaines que les données de mortalité les plus récentes relatives à la forêt entière. Ces données sont donc retraitées pour être mises en cohérence avec les données les plus récentes grâce à l'équation suivante.

**Équation 29 (Forêts)**

$$Mortalité_LF_{ij} = Mortalité_{ij} \bullet A_LF_{ij} \bullet Mort_LF_{ij} / (A_FF_{ij} \bullet Mort_FF_{ij} + A_LF_{ij} \bullet Mort_LF_{ij})$$

Avec :

| | | |
|---|---|---|
| Mortalité_$LF_{ij}$ | = | Mortalité normalisée moyenne annuelle en matière sèche (MS) sur les forêts devenant forêt, par type de forêt (i = 1 à ***n***) et par zone climatique (j = 1 à ***m***), t MS/ha/an |
| $Mortalité_{ij}$ | = | Mortalité moyenne annuelle en MS sur les forêts, t MS/an |
| $A_FF_{ij}$ | = | Surfaces des forêts restant forêts, ha |
| $A_LF_{ij}$ | = | Surfaces des terres devenant forêts, ha |
| $Mort_FF_{ij}$ | = | Mortalité moyenne annuelle en MS sur les forêts restant forêt, t MS/ha/an |
| $Mort_LF_{ij}$ | = | Mortalité moyenne annuelle en MS sur les terres devenant forêt, t MS/ha/an |

***Biomasse morte (terres devenant terres forestières) [dw] [lt]***

Les variations de stock de carbone pour la biomasse morte sont décomposées entre bois mort et litière.

***Bois mort (terres devenant terres forestières) [dw]***

La conversion d'une terre en forêt s'accompagne de la création du réservoir bois mort et donc d'un stockage de carbone dans ce réservoir. Dans l'inventaire français actuel, ce stockage est estimé par la méthode de la variation de stock à la maille. Le stock de bois mort de référence est le stock de la sylvoécorégion par type de peuplement, et il sera atteint au bout de 40 ans. Pour les peupleraies, seule une valeur nationale est utilisée. Le stock moyen est d'environ 3 à 4 tC/ha pour les sous-catégories de forêt. Les valeurs sont disponibles dans le tableau de stock de référence en début de section, paragraphe *Approche et données*, ou à la section *UTCATF-Général*.

***Litière (terres devenant terres forestières) [lt]***

Le passage en usage forêt d'une terre s'accompagne de la création du réservoir litière et donc d'un stockage de carbone dans ce réservoir. Dans l'inventaire français actuel, ce stockage est estimé par la méthode de la variation de stock à la maille. Le stock de litière de référence est le stock de la GRECO par type de peuplement, et il sera atteint au bout de 20 ans.

Les valeurs sont disponibles dans le tableau de stock de référence dans le paragraphe M*éthodes génériques* (*UTCATF-Général)*.

***Matière organique du sol (terres devenant terres forestières) – sols minéraux [s_min]***

Les variations du stock de carbone des sols sont estimées selon la méthode décrite dans la partie générique et commune à toutes les terres avec changement (modèle de variation de stock par maille).

## 6.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

**Incertitude générale de l'UTCATF**

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). L'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 3ème niveau de la catégorie CRT (i.e. 4.A1 et 4.A2).

Depuis l'édition d'inventaire 2016, l'incertitude du secteur UTCATF est estimée à partir d'une méthode de type Monte-Carlo permettant d'intégrer un maximum les interdépendances entre les catégories de terres. Sur le secteur 4A l'incertitude estimée sur l'émission de $CO_2$ atteint la valeur de 21%. Les phénomènes mis en jeu, la complexité des échanges entre milieux ainsi que le caractère diffus et non immédiat des émissions/absorptions engendrées expliquent cette valeur.

Les incertitudes sur les émissions de $CH_4$ et de $N_2O$ sont de 100% pour chaque polluant. Ceci est basé sur l'avis des experts sectoriels.

La méthodologie employée est la même tout au long de la période afin de garantir la cohérence temporelle. Les changements méthodologiques, lorsqu'ils adviennent, sont reportés sur l'ensemble de la période pour conserver cette cohérence.

Une mise à jour du mode de calcul des incertitudes est envisagée pour mieux refléter les nouvelles réalités du mode de suivi des terres et du modèle de calcul carbone à la maille.

**Incertitude sur les feux de forêt**

La combustion lors des incendies de forêt n'étant par nature pas maîtrisée, la représentation des émissions reste imprécise. La variabilité des émissions dans l'espace et dans le temps est donc à l'origine d'une incertitude élevée que l'utilisateur de ces données s'efforcera de conserver à l'esprit. En outre, l'estimation des pertes de carbone lors des feux de forêt ne prend pas en compte le réservoir bois mort.

## 6.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

**Forêt en métropole**

Les valeurs utilisées dans cette catégorie de l'inventaire sont pour la plupart issues de l'inventaire forestier national, qui comprend un travail d'assurance qualité et de vérification de la représentativité des statistiques produites.

**Forêt en Outre-Mer**

L'hypothèse de neutralité peut être comparée avec une approche Giec de niveau 1. En Guyane, l'hypothèse de neutralité sur toute la forêt n'est plus appliquée et une méthode gains-pertes est mise en place pour toutes les terres ayant subi un prélèvement de bois au cours de la période couverte. Pour les autres territoires, les calculs suivants ont été réalisés à titre de comparaison, ils ne participent pas aux résultats de l'inventaire actuel.

*Surfaces*

Les données de surface en forêt prises en compte dans les calculs de flux sont obtenues par télédétection (études IFN [6, 7, 8]) sauf pour la Guyane pour laquelle la surface de forêt en exploitation est fournie par l'ONF [5].

**Tableau 276 : Surface de forêt par DOM (ha)**

| Surface forêt (ha) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Réunion** | **Martinique** | **Guadeloupe** | **Guyane** |
| 1990 | 101 658 | 44 298 | 70 529 | 2 425 034 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1995 | 99 906 | 41 294 | 68 001 | 2 425 034 |
| 2000 | 98 154 | 38 291 | 65 474 | 2 425 034 |
| 2005 | 96 403 | 35 287 | 62 947 | 2 425 034 |
| 2010 | 94 651 | 32 284 | 60 419 | 2 425 034 |

*Accroissements*

La formule utilisée pour calculer l'accroissement de la biomasse en tonnes de carbone par hectare est l'équation 3.2.5 du Giec 2003 multipliée par la fraction de carbone dans la matière sèche :

GTOTAL= Gw * (1+R) *CF

Avec :
GTOTAL = Accroissement annuel de la biomasse (tMS/ha/an).
Gw = Accroissement aérien annuel de la biomasse (tMS/ha/an).
R = Ratio racinaire / aérien (sans dimension).
CF = Fraction de carbone de la matière sèche (tC/tMS).

**Tableau 277 : Paramètres d'accroissement de la biomasse forestière.**

| Paramètres | Guyane | Source | Réunion | Source | Martinique | Source | Guadeloupe | Source |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gw | 1,9. Forêt tropicale, pluvieuse d'Amérique de classe d'âge supérieure à 20 ans. | Giec 2003, Table 3A.1.5 | 1,0. Forêt tropicale montagnarde humide d'Afrique de classe d'âge supérieure à 20 ans. | Giec 2003, Table 3A.1.5 | 1,0. Forêt tropicale humide d'Amérique à saison sèche longue | Giec 2003, Table 3A.1.5 | 1,0. Forêt tropicale humide d'Amérique à saison sèche longue1. | Giec 2003, Table 3A.1.5 |
| R | 0,22. Forêt primaire, tropicale et humide. | Giec 2003, Table 3A.1.8. | 0,22. Forêt primaire, tropicale et humide. | Giec 2003, Table 3A.1.8. | 0,22. Forêt primaire, tropicale et humide. | Giec 2003, Table 3A.1.8. | 0,22. Forêt primaire, tropicale et humide. | Giec 2003, Table 3A.1.8. |
| CF | 0,475 | Carbofor. INRA [4] | 0,475 | Carbofor. INRA [4] | 0,475 | Carbofor INRA. [4] | 0,475 | Carbofor INRA. [4] |

** Dans une première approche la durée de la saison sèche n'ayant pas été déterminée pour ces territoires, la valeur la plus conservative correspondant à une longue saison sèche longue a été retenue.*

**Tableau 278 : Résultats intermédiaires pour l'accroissement en Outre-Mer**

| *Accroissement (tC)* | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Réunion** | **Martinique** | **Guadeloupe** | **Guyane** |
| 1990 | 58 911 | 26 091 | 41 541 | 2 532 202 |
| 1995 | 57 896 | 24 322 | 40 053 | 2 532 202 |
| 2000 | 56 880 | 22 553 | 38 564 | 2 532 202 |
| 2005 | 55 865 | 20 784 | 37 076 | 2 532 202 |
| 2010 | 54 850 | 19 015 | 35 587 | 2 532 202 |

*Prélèvements*

La formule utilisée pour calculer les prélèvements de biomasse forestière en tonnes de carbone est l'équation 3.2.3 du Giec 2003.

C = V * D * BEF2*(1+R)*CF

Avec :
C = Prélèvements (tC).
V = Volumes prélevés commercialisables (m3)
D = Densité (tMS/m3)
BEF2 = Facteur d'expansion aérien (sans dimension).

R = Rapport racinaire / aérien (sans dimension).
CF = Fraction de carbone de la matière sèche (tC/tMS).

| Paramètre | Guyane | Source | Réunion | Source | Martinique | Source | Guadeloupe | Source |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V | Volumes de grumes prélevés + pertes additionnelles. | IEDOM [1] + Rapport ONF Guyane. CIRAD [4] | Volumes de grumes prélevés. | IEDOM [1] | Volumes de grumes prélevés. | IEDOM [1] | Volumes de grumes prélevés. | IEDOM [1] |
| | Volumes de bois de chauffe+ autres bois industriels | FAOSTAT [2] | Bois de chauffe+ Autres bois industriels. | FAOSTAT [2] | Bois de chauffe+ Autres bois industriels. | FAOSTAT [2] | Bois de chauffe+ Autres bois industriels. | FAOSTAT [2] |
| | | | Récoltes dans les forêts gérées par ONF(2010). | Agreste 2012 [3] | Récoltes dans les forêts gérées par ONF(2010). | Agreste 2012 [3] | Récoltes dans les forêts gérées par ONF(2010). | Agreste 2012 [3] |
| D | 0,73. | Rapport ONF Guyane. CIRAD [4] | 0,5.[Giec]*. | Giec 2003 | 0,5.[Giec]*. | Giec 2003 | 0,5.[Giec] | Giec 2003 |
| BEF2 | 3,4. Valeur pour forêts tropicales à feuilles larges. | Giec 2003. Table 3A.1.10 | 1,3.Valeur pour forêts tropicales de conifères. | Giec 2003. Table 3A.1.10 | 1,3. Valeur pour forêts tropicales de conifères.* | Giec 2003. Table 3A.1.10 | 1,3. Valeur pour forêts tropicales de conifères. | Giec 2003. Table 3A.1.10 |
| CF | 0,475 | Carbofor. INRA [4] | 0,475 | Carbofor. INRA [4] | 0,475 | Carbofor INRA. [4] | 0,475 | Carbofor INRA. [4] |

* Faute de données précises sur la composition des forêts de ces territoires, la valeur de densité (D) par défaut de 0,5 du Giec est utilisée. Elle reste cohérente avec les essences majoritairement exploitées sur ces territoires : Cryptomeria (D= 0.43 ; 0.44) et Tamarin (D= 0,75) pour la Martinique ; Acajou (D=0,55) pour la Réunion [Giec 2003, tableau 3A.1.9-2].

Pour déterminer les volumes (V) prélevés, on utilise les données IEDOM [1], pour les années disponibles, qui sont plus précises que les statistiques de la FAO [2]. On complète si nécessaire avec les données du mémento Agreste [3] et on extrapole entre les deux si c'est possible sinon on assume un prélèvement constant à partir de la dernière année connue. On ajoute aux volumes de grumes les volumes de bois de chauffe et les autres bois industriels [2] pour connaitre le volume total prélevé.

**Tableau 279 : Résultats intermédiaires pour les prélèvements en Outre-Mer**

| | Prélèvements (tC) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Réunion** | **Martinique** | **Guadeloupe** | **Guyane** |
| 1990 | 15 521 | 6 873 | 7 259 | 2 017 622 |
| 1995 | 15 866 | 6 873 | 6 533 | 2 124 282 |
| 2000 | 15 456 | 6 214 | 6 533 | 2 155 834 |
| 2005 | 16 740 | 5 795 | 6 533 | 2 089 208 |
| 2010 | 18 024 | 5 316 | 6 533 | 2 012 363 |

*Bilan*

Le bilan d'émission des forêts restant forêts des départements d'Outre-mer en tonnes de CO2 est calculé de la manière suivante :

$$B = (C - GTOTAL)*(44/12) = [(V * D * BEF2*(1+R)*CF) - (GTOTAL*CF*S)]*(44/12)$$

Avec :
C = Prélèvements (tC).
GTOTAL = Accroissement annuel de la biomasse (tMS/ha/an).
CF = Fraction de carbone de la matière sèche (tC/tMS).
V = Volumes prélevés commercialisables (m3)
D = Densité du bois (tMS/m3)

BEF2 = Facteur d'expansion aérien (sans dimension).

R = Rapport racinaire / aérien (sans dimension).

S = Surface exploitée (ha).

**Tableau 280 : Bilan d'émission des forêts des DOM (tCO2)**

| Bilan (tCO2) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Réunion** | **Martinique** | **Guadeloupe** | **Guyane*** |
| 1990 | -159 095 | -70 469 | -125 701 | -7 397 946 |
| 1995 | -154 110 | -63 983 | -122 904 | -7 789 033 |
| 2000 | -151 890 | -59 909 | -117 446 | -7 904 724 |
| 2005 | -143 460 | -54 962 | -111 988 | -7 660 430 |
| 2010 | -135 031 | -50 231 | -106 530 | -7 378 664 |

* Puits estimé à partir des 2,4 Mha de forêts dites d'exploitation, ce puits ne correspond pas à ce qui est actuellement incorporé dans l'inventaire où seules les surfaces effectivement sujettes à une exploitation ont été prises en compte et pour lesquelles les gains et pertes se compensent.

*Références :*

[1] IEDOM. Rapports annuels de l'Institut d'Emission des Départements d'Outre-mer.

[2] FAOSTAT. Plateforme internet de statistique. http://faostat.fao.org/.

[3] Agreste. Forêt-Bois. Memento 2012.

[4] Rapport CARBOFOR. Juin 2004.

[5] IFN- Suivi de l'occupation du sol et des changements d'occupation du sol en Guyane par télédétection satellitaire – Rapport final, janvier 2008.

[6] IFN- Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 1– Guadeloupe –Rapport final, août 2009.

[7] IFN- Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 1– Martinique –Rapport final, août 2009. [8] IFN- Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 1– Réunion –Rapport final, août 2009

## 6.4.5 Recalculs

**Impacts des recalculs du CRT 4A**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | -40 714 | -49 245 | -38 970 | -64 229 | -61 146 | -61 197 | -64 278 | -67 336 | -60 260 | -57 326 | -48 467 | -37 843 | -36 238 | -36 470 | -38 557 | -34 426 | -34 603 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | -45 259 | -50 587 | -42 495 | -70 430 | -65 428 | -65 460 | -67 322 | -70 686 | -62 188 | -58 957 | -52 229 | -44 787 | -48 288 | -48 967 | -51 313 | -46 611 | -46 302 | -51 046 |
| Différence | kt CO2e | -4 545 | -1 342 | -3 526 | -6 201 | -4 281 | -4 264 | -3 044 | -3 350 | -1 927 | -1 631 | -3 762 | -6 944 | -12 050 | -12 497 | -12 756 | -12 185 | -11 699 | -51 046 |
| | % | +11% | +3% | +9% | +10% | +7% | +7% | +5% | +5% | +3% | +3% | +8% | +18% | +33% | +34% | +33,08% | +35% | +34% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /4.A

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

- De nouvelles modifications ont été faites concernant le suivi des terres spatialement explicite dans le cadre de l'amélioration continue de la méthode. Cela impacte l'ensemble de la série temporelle sur les surfaces et les changements d'utilisation des terres. Les données d'activités sont modifiées et génèrent des recalculs pour toutes les années. Les dynamiques de boisements ont notamment été modifiée en début et fin de série temporelle pour améliorer la cohérence avec les dynamiques de l'inventaire forestier national, et correspondre aux dernières prises de vue aériennes disponibles.
- En début et fin de série afin de pallier au manque de données spatialement explicite, une méthode d'extrapolation est appliquée, et le calcul de l'accroissement sur cette partie a été modifié.
- L'intégration de la nouvelle campagne IGN 2018-2022 utilisée pour l'année médiane 2020 génère un recalcul principalement sur 2021 et sur l'extrapolation effectuée sur l'année 2022. Cela est dû à la temporalité de diffusion des résultats forestiers et est vrai tous les ans. De plus, le mode de bouclage entre l'approche modèle Citepa et l'approche directe de l'IGN avec la prise en compte d'une nouvelle campagne impacte le niveau global des prélèvements sur l'ensemble de la série, cela est aussi vrai pour toutes les éditions.

- Le compartiment bois mort était préalablement considéré à l'équilibre hors épisodes de tempêtes, pour lesquelles une cinétique de dégradation était appliquée aux chablis. Désormais une méthode par variation de stocks est appliquée afin de suivre les dynamiques de ce compartiment. Elle se base sur les mesures directes de l'inventaire forestier national, puis le traitement est mené de façon à être en cohérence avec le traitement de la mortalité fourni par la même source. Cela crée de très forts recalculs, car l'augmentation notable de la mortalité depuis 2015 est tamponnée désormais dans le compartiment bois mort.

**Raisons et justifications**

La modification du mode de suivi des terres permet de répondre aux nouvelles exigences des règlements LULUCF 2018/841 ainsi que Gouvernance 2018/1899. Elle permet d'améliorer la transparence des surfaces de changements d'usage des terres et sert de squelette au mode d'estimation de variation de stock de carbone à la maille par compartiment.

De même, la prise en compte de la variation de stock dans le bois mort (fin d'application du « Tier 1 équilibre ») est une obligation du règlement.

## 6.4.6 Améliorations envisagées

Il est notamment prévu de de mobiliser les données de l'Inventaire forestier national, d'ores et déjà incorporées dans l'inventaire pour une estimation par la méthode gains-pertes, pour consolider l'évolution du stock forestier grâce à une méthode globale de variation de stock (actuellement les résultats sont obtenus par méthode des flux).

Pour les sols forestiers, différentes études donnent des puits de carbone dans les sols forestiers (en lien avec l'augmentation des stocks de biomasse), il est donc probable que cette dynamique soit intégrée dans les années qui viennent, mais cela ne sera réellement pertinent que lorsque les résultats de la seconde campagne de mesure du RMQS (Réseau de mesure de la qualité des sols) seront disponibles. Les données actuellement disponibles ne remplissent pas suffisamment les critères de représentativité jugé nécessaires à une inclusion dans l'inventaire national.

En termes de problématiques forestières, certaines réflexions portent sur les pratiques forestières et notamment les taux de pertes lors des récoltes, ainsi que le taux de coupes sanitaires au sein des prélèvements.

Concernant les feux de forêt, l'utilisation depuis l'édition 2019 de la base de données BDIFF de l'IGN, permet d'accroître la fiabilité des données sources tant sur les surfaces brûlées que leur localisation, ce qui permet d'affiner le calcul des types de végétation brûlée. Une évolution de la méthode vers l'utilisation de données géoréférencées pourrait être envisagée. Cela permettrait d'intégrer le suivi des incendies au module de suivi des terres spatialement explicite.

*Amélioration du suivi des terres entre métropole et outre-mer*

Une réflexion est engagée au niveau national pour consolider le système d'information géographique dans les territoires d'Outre-mer notamment en étendant le domaine d'intervention de l'IGN aux forêts ultramarines ce qui permettra la collecte de nouvelles données sur les zones forestières qui sont les plus importantes pour le secteur. La France a conduit deux études en 2017 avec pour objectif d'améliorer la régularité de la production de données forestières dans les territoires ultramarins et de répondre au besoin de rapportage en lien avec les accords internationaux en matière de politique climatique en particulier aux engagements climat :

- *Productions régulières et planifiées de données forestières sur les territoires ultramarins. État des lieux et perspectives* (IGN/MAA-Janvier 2017). L'étude propose différentes solutions de production de données homogènes permettant de mieux appréhender les milieux forestiers des territoires ultra-marins et de mieux répondre aux politiques publiques. Les éléments de cadrage de cette étude visent deux exercices de rapportage forestier, l'évaluation des ressources forestières (FRA) dans le cadre de la FAO et les indicateurs de gestion durable des forêts françaises (IGD), mais n'incluent pas explicitement le rapportage climatique.

- *Carthaforum- Missions sur la faisabilité d'une cartographie régulières des habitats forestiers ultramarins et du suivi des évolutions* (Ecofor-MTE- juin 2017) Cette étude fait suite à la loi n°2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture et la forêt (LAAF, article 86 § 2), qui a modifié le Code forestier en introduisant un article L-151-3 ainsi rédigé: « L'inventaire permanent des ressources forestières nationales prend en compte les particularités des bois et forêts situés en Guadeloupe, en Guyane, en Martinique, à La Réunion, à Mayotte, à Saint-Barthélemy, à Saint-Martin et à Saint-Pierre-et-Miquelon. »

- Plusieurs jeux de données sur le suivi de l'occupation du sol en Outre-mer (sur un ou plusieurs territoires) sont aussi disponibles : TerUti-Lucas, Corine Land Cover, Vancutsem et al. 2021, OCSge, TropiSCO. Vancutsem et al. 2021 est d'ores-et-déjà utilisé pour la Guyane pour les années récentes. Des travaux supplémentaires sont envisageables, dans la suite de

l'approche spatialement explicite en développement pour la France métropolitaine.

- D'autres données sur les stocks de biomasse comme la carte de Fayad et al. 2016 [31]sur la Guyane, la carte de Potapov et al. 2021 [32]mobilisant les données GEDI et LANDSAT ou encore les travaux d'Avitabile et al. 2016[33] sont aussi des sources de données pressenties pour améliorer la précision des estimations.

Suite à la récente réalisation de ces études, la France analyse actuellement les différentes solutions proposées.

*Biomasse racinaire*

Les valeurs utilisées issues de l'étude Carbofor [204] de 0,3 pour les feuillus et de 0,28 pour les résineux sont cohérentes avec les valeurs proposées par le Giec (2006, vol 4, chap. 4, table 4.4), allant pour la zone tempérée de 0,2 à 0,4.

*Teneur en carbone de la biomasse forestière*

Des travaux sont actuellement en cours pour affiner les valeurs de teneur carbone dans la biomasse forestière notamment le projet XyloDensMap qui a permis d'évaluer les densités du bois des carottes forestières prélevés par l'inventaire forestier français. L'actualisation de ces données pourraient modifier significativement les résultats forestiers.

*Bois mort - Comparaison avec une approche de niveau 1 du Giec*

Le Giec (2006 [672], vol 4. Chap 2, table 2.2) ne donne pas de stock par défaut pour le bois mort, quelle que soit la zone climatique considérée.

[31] Fayad I., Baghdadi N., Guitet S., Bailly J.S., Hérault B., Gond V., El Hajj M., and Ho Tong Minh D., 2016. Aboveground biomass mapping in French Guiana by combining remote sensing, forest inventories and environmental data, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 52, pp.502-514, http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.04.005.

[32] Potapov, P., Li, X., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Hansen, M. C., Kommareddy, A., ... & Hofton, M. (2021). Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, *253*, 112165.

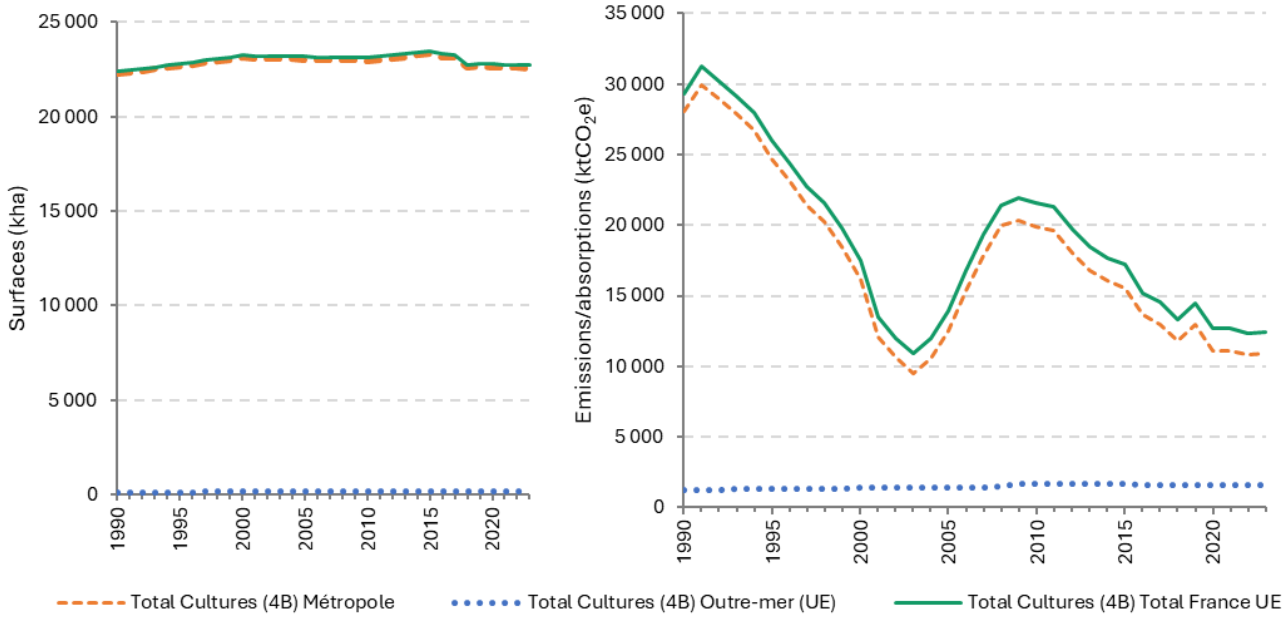
[33] Avitabile, V., & al. (2016) An integrated pan-tropical biomass map using multiple reference datasets. Global Change Biology, 22, 1406–1420

# 6.5 Cultures (CRT 4B)

## 6.5.1 Caractéristiques de la catégorie

Les surfaces en cultures couvrent 22,7 millions d'hectares en France en 2023. Les émissions de $CO_2$ estimées sont dues aux conversions des prairies en cultures qui s'accompagnent le plus souvent d'une perte de carbone du sol et donc d'émissions de $CO_2$ de la part du réservoir sol. Pour la matière ligneuse, présente dans les vignes et vergers sur ces terres, il est considéré que l'accroissement compense la récolte. La tendance observée sur les émissions résulte de la baisse des conversions de prairies vers cultures sur l'ensemble de la période et dans une moindre mesure de la modification des pratiques de travail du sol qui engendre un stockage additionnel de carbone dans les sols. L'évolution des pratiques culturales impacte fortement le calcul de stockage de carbone dans les sols avec la nouvelle méthode de variation de stock à la maille. Une tendance au déstockage en cultures dans les années 2000 apparaît plus nettement qu'avec l'ancienne méthode, qui lissait davantage les évolutions de pratiques. Ce stockage dans les sols tend à réaugmenter depuis 2010.

**Figure 207 : Surfaces et Emissions / Absorptions en cultures**




Source Citepa / format France UE - mars 2025

RapportageUTCATF.xlsx/NIR2

**Tableau 281 : Surfaces en cultures (en milliers d'ha)**

| | Surfaces (kha) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Cultures (CRT 4B) | | | Cultures restant Cultures (CRT 4B1) | | | Terres devenant Cultures (CRT 4B2) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | 22 270 | 122 | 22 392 | 18 178 | 94 | 18 272 | 4 092 | 28 | 4 120 |
| 1991 | 22 342 | 124 | 22 465 | 18 256 | 94 | 18 350 | 4 086 | 30 | 4 116 |
| 1992 | 22 419 | 125 | 22 544 | 18 339 | 94 | 18 433 | 4 080 | 31 | 4 111 |
| 1993 | 22 502 | 127 | 22 629 | 18 425 | 94 | 18 518 | 4 078 | 33 | 4 111 |
| 1994 | 22 582 | 128 | 22 710 | 18 517 | 94 | 18 610 | 4 065 | 35 | 4 100 |
| 1995 | 22 662 | 130 | 22 792 | 18 606 | 94 | 18 700 | 4 056 | 36 | 4 092 |
| 1996 | 22 746 | 131 | 22 877 | 18 694 | 93 | 18 787 | 4 052 | 38 | 4 090 |
| 1997 | 22 830 | 133 | 22 963 | 18 782 | 93 | 18 875 | 4 048 | 40 | 4 088 |
| 1998 | 22 912 | 135 | 23 046 | 18 870 | 93 | 18 963 | 4 042 | 41 | 4 083 |
| 1999 | 23 003 | 136 | 23 140 | 18 961 | 93 | 19 055 | 4 042 | 43 | 4 085 |
| 2000 | 23 096 | 138 | 23 233 | 19 061 | 93 | 19 154 | 4 035 | 44 | 4 079 |
| 2001 | 23 075 | 139 | 23 214 | 19 135 | 93 | 19 228 | 3 941 | 46 | 3 987 |
| 2002 | 23 062 | 141 | 23 203 | 19 205 | 93 | 19 298 | 3 857 | 48 | 3 905 |
| 2003 | 23 048 | 142 | 23 191 | 19 273 | 93 | 19 366 | 3 775 | 49 | 3 825 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2004 | 23 034 | 144 | 23 178 | 19 341 | 93 | 19 434 | 3 693 | 51 | 3 744 |
| 2005 | 23 019 | 146 | 23 165 | 19 420 | 93 | 19 513 | 3 600 | 52 | 3 652 |
| 2006 | 23 009 | 147 | 23 156 | 19 498 | 93 | 19 591 | 3 510 | 54 | 3 564 |
| 2007 | 22 996 | 149 | 23 145 | 19 572 | 93 | 19 665 | 3 424 | 56 | 3 480 |
| 2008 | 22 985 | 150 | 23 136 | 19 642 | 93 | 19 735 | 3 343 | 57 | 3 401 |
| 2009 | 22 969 | 151 | 23 121 | 19 730 | 94 | 19 824 | 3 239 | 57 | 3 297 |
| 2010 | 22 960 | 152 | 23 113 | 19 809 | 95 | 19 904 | 3 151 | 58 | 3 208 |
| 2011 | 23 015 | 153 | 23 168 | 19 882 | 96 | 19 978 | 3 132 | 58 | 3 190 |
| 2012 | 23 078 | 154 | 23 233 | 19 961 | 96 | 20 057 | 3 117 | 58 | 3 175 |
| 2013 | 23 151 | 155 | 23 306 | 20 053 | 97 | 20 150 | 3 098 | 58 | 3 156 |
| 2014 | 23 229 | 157 | 23 386 | 20 144 | 98 | 20 242 | 3 085 | 59 | 3 144 |
| 2015 | 23 308 | 158 | 23 466 | 20 237 | 99 | 20 336 | 3 071 | 59 | 3 130 |
| 2016 | 23 157 | 158 | 23 316 | 20 236 | 100 | 20 336 | 2 921 | 59 | 2 980 |
| 2017 | 23 120 | 159 | 23 279 | 20 342 | 101 | 20 442 | 2 778 | 59 | 2 837 |
| 2018 | 22 575 | 160 | 22 735 | 19 964 | 101 | 20 065 | 2 611 | 59 | 2 670 |
| 2019 | 22 656 | 161 | 22 817 | 20 078 | 102 | 20 180 | 2 578 | 59 | 2 637 |
| 2020 | 22 614 | 162 | 22 776 | 20 181 | 103 | 20 285 | 2 433 | 59 | 2 492 |
| 2021 | 22 595 | 163 | 22 758 | 20 206 | 104 | 20 310 | 2 389 | 59 | 2 448 |
| 2022 | 22 571 | 164 | 22 735 | 20 233 | 105 | 20 337 | 2 338 | 59 | 2 397 |
| 2023 | 22 542 | 165 | 22 707 | 20 254 | 106 | 20 359 | 2 289 | 59 | 2 348 |

**Tableau 282 : Emissions / Absorptions en cultures (en ktCO₂e)**

| | Emissions / Absorptions (ktCO₂e) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Cultures (CRT 4B) | | | Cultures restant Cultures (CRT 4B1) | | | Terres devenant Cultures (CRT 4B2) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | 28 068 | 1 249 | 29 317 | 1 654 | 5 | 1 658 | 26 414 | 1 244 | 27 659 |
| 1991 | 29 966 | 1 261 | 31 227 | 2 291 | 5 | 2 296 | 27 674 | 1 256 | 28 931 |
| 1992 | 28 967 | 1 273 | 30 240 | 2 285 | 5 | 2 289 | 26 682 | 1 268 | 27 950 |
| 1993 | 27 855 | 1 285 | 29 140 | 2 211 | 5 | 2 216 | 25 643 | 1 280 | 26 924 |
| 1994 | 26 705 | 1 297 | 28 002 | 2 283 | 5 | 2 288 | 24 421 | 1 292 | 25 714 |
| 1995 | 24 686 | 1 309 | 25 995 | 1 459 | 5 | 1 464 | 23 228 | 1 304 | 24 532 |
| 1996 | 23 139 | 1 321 | 24 460 | 1 073 | 5 | 1 077 | 22 067 | 1 316 | 23 383 |
| 1997 | 21 380 | 1 333 | 22 713 | 474 | 5 | 478 | 20 906 | 1 328 | 22 234 |
| 1998 | 20 217 | 1 345 | 21 562 | 348 | 5 | 353 | 19 869 | 1 341 | 21 209 |
| 1999 | 18 470 | 1 357 | 19 827 | -568 | 5 | -563 | 19 038 | 1 353 | 20 390 |
| 2000 | 16 124 | 1 370 | 17 494 | -1 637 | 5 | -1 632 | 17 761 | 1 365 | 19 126 |
| 2001 | 12 113 | 1 382 | 13 495 | -3 313 | 5 | -3 309 | 15 426 | 1 377 | 16 803 |
| 2002 | 10 617 | 1 394 | 12 010 | -4 521 | 5 | -4 516 | 15 137 | 1 389 | 16 526 |
| 2003 | 9 473 | 1 406 | 10 878 | -5 538 | 5 | -5 533 | 15 010 | 1 401 | 16 411 |
| 2004 | 10 604 | 1 417 | 12 021 | -4 501 | 5 | -4 496 | 15 105 | 1 413 | 16 517 |
| 2005 | 12 549 | 1 429 | 13 978 | -2 653 | 5 | -2 648 | 15 202 | 1 424 | 16 626 |
| 2006 | 15 363 | 1 441 | 16 804 | 37 | 5 | 42 | 15 326 | 1 436 | 16 763 |
| 2007 | 17 881 | 1 453 | 19 334 | 2 161 | 5 | 2 166 | 15 720 | 1 448 | 17 168 |
| 2008 | 19 968 | 1 465 | 21 433 | 4 253 | 5 | 4 257 | 15 716 | 1 460 | 17 176 |
| 2009 | 20 298 | 1 642 | 21 939 | 4 523 | 5 | 4 528 | 15 774 | 1 637 | 17 411 |
| 2010 | 19 933 | 1 643 | 21 577 | 4 076 | 5 | 4 081 | 15 857 | 1 639 | 17 496 |
| 2011 | 19 631 | 1 645 | 21 277 | 3 564 | 5 | 3 568 | 16 068 | 1 640 | 17 708 |
| 2012 | 18 064 | 1 647 | 19 711 | 2 692 | 5 | 2 697 | 15 371 | 1 642 | 17 014 |
| 2013 | 16 823 | 1 649 | 18 472 | 1 724 | 5 | 1 729 | 15 099 | 1 644 | 16 743 |
| 2014 | 16 062 | 1 651 | 17 713 | 1 398 | 5 | 1 403 | 14 664 | 1 646 | 16 310 |
| 2015 | 15 579 | 1 653 | 17 232 | 1 225 | 5 | 1 230 | 14 354 | 1 648 | 16 002 |
| 2016 | 13 678 | 1 548 | 15 225 | 630 | 5 | 635 | 13 048 | 1 543 | 14 590 |
| 2017 | 12 982 | 1 548 | 14 530 | 807 | 5 | 812 | 12 175 | 1 543 | 13 718 |
| 2018 | 11 776 | 1 549 | 13 325 | 203 | 5 | 208 | 11 573 | 1 544 | 13 117 |
| 2019 | 12 943 | 1 549 | 14 492 | 1 532 | 5 | 1 537 | 11 411 | 1 544 | 12 955 |
| 2020 | 11 125 | 1 550 | 12 675 | 707 | 5 | 712 | 10 418 | 1 545 | 11 963 |
| 2021 | 11 134 | 1 550 | 12 684 | 797 | 5 | 802 | 10 337 | 1 545 | 11 882 |
| 2022 | 10 785 | 1 551 | 12 335 | 710 | 5 | 715 | 10 074 | 1 546 | 11 620 |
| 2023 | 10 886 | 1 551 | 12 437 | 704 | 5 | 709 | 10 182 | 1 546 | 11 728 |

## 6.5.2 Méthode d'estimation des émissions

***Emissions de $CO_2$***

*Emissions de $CO_2$ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone*

Les variations de stock des différents compartiments carbone associées aux terres cultivées changeant de sous-catégorie ou aux terres converties en terres cultivées entrainent des flux de $CO_2$. Des flux de carbone complémentaires liés aux récoltes de bois et à la repousse associée sont aussi pris en compte. La conversion du flux de C en $CO_2$ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

*Emissions de $CO_2$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Les émissions directes et indirectes de $CO_2$ liées au drainage des sols organiques (histosols) cultivés sont estimées sur la base des surfaces d'histosols obtenues de manière spatialement explicite en utilisant plusieurs jeux de données cartographiques pertinents, que ce soit pour la métropole (*Peatland map of Europe* (Tanneberger et al., 2017, [1202]) qui se base sur la BDGSF l'Inra [719] pour la France ; carte de l'humidité des sols (couche *water and wetness*) des *High Resolution Layers* [1203]) et pour la Guyane [720] pour la Guyane) croisées avec des cartes d'occupation des sols [carte des îlots agricoles du Registre Parcellaire Graphique [1204] pour la métropole, *Corine Land Cover* pour la Guyane]. Les facteurs d'émission proviennent du Supplément 2013 du Giec sur les Zones Humides ([923] chap.1 table 2.1) : 7,9 tCO2/ha/an en Métropole et 14t CO2/ha/an pour la Guyane ; ainsi que et 0,1 tCO2/ha/an dans les deux zones pour les émissions indirectes.

*Emissions de $CO_2$ liées au brûlage*

Les émissions de $CO_2$ liées au brûlage sont incluses dans les estimations liées à la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Aucune émission supplémentaire n'est calculée.

***Emissions de $CH_4$***

*Emissions de $CH_4$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Les émissions de $CH_4$ liées au drainage des sols organiques (histosols) cultivés sont estimées sur la base des surfaces d'histosols issues de cartes pédologiques ([719 ; 1202 ; 1203] pour la Métropole, [720] pour la Guyane) croisées avec des cartes d'occupation des sols [Corine Land Cover ; RPG [1204]]. Les facteurs d'émission proviennent du Supplément 2013 du Giec sur les Zones Humides ([923] chap.1 table 2.3) : 0 tCO2/ha/an en Métropole et en Guyane.

*Emissions de $CH_4$ liées au brûlage*

Du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, quelle que soit la catégorie de destination. Des émissions de $CH_4$ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 $tCH_4/tC$ [199, table 3A.1.15].

De plus, conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de CH4 issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est également prise en compte. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

### *Emissions de N2O*

*Emissions de N2O liées à la fertilisation (directes et indirectes)*

Les émissions de $N_2O$ liées à la fertilisation des terres agricoles sont intégralement rapportées dans le secteur Agriculture.

*Emissions de $N_2O$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Les émissions de $N_2O$ liées au drainage des sols organiques (histosols) cultivés sont estimées et rapportées dans le secteur Agriculture.

*Emissions de $N_2O$ liées à la minéralisation des sols*

Conformément aux recommandations du Giec, si une conversion d'une terre en Culture s'accompagne d'une perte de carbone (exemple : Forêt vers Culture ou Prairie vers Culture), alors elle entraine une émission de $N_2O$ liée à la minéralisation de l'azote. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du Giec 2006 [672]. Ces émissions sont rapportées en UTCATF.

Pour les terres cultivées sans changement d'utilisation des terres, les flux associés à la minéralisation doivent être rapportés dans le secteur Agriculture. Ces flux sont nuls car les terres cultivées restant terres cultivées présentent un puits de carbone au niveau des sols.

*Emissions de $N_2O$ liées au brûlage*

Du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, quelle que soit la catégorie de destination. Des émissions de $N_2O$ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 $tN_2O/tN$, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

De plus, conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de N2O issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est prise en compte (en vignes et vergers). Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant :

https://www.citepa.org/fr/ominea

De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

#### 1.1.1.17 Approche et données

*Approche générale*

Les flux de carbone sont estimés en deux temps :

1. Dans un premier temps, la routine du modèle de variation de stock par maille estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock :
    - pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec, par exemple entre blé et vigne) ;
    - pour le compartiment des sols minéraux, en fonction des changements de pratique (en plus des changements d'usage).
2. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés à la biomasse ligneuse type forêt (récolte de bois hors forêt…) ; sols organiques drainés ; etc.

*Données*

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie UTCATF général. Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories de terres cultivées. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

**Tableau 283 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tC/ha* | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Cultures annuelles | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 0 | 0 | 0 | 56,1 [34,7 ; 86,6] |
| Cultures permanentes indéfinies | 0 | 0 | 2,75 | 2,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54,1 [33,2 ; 67,4] |
| Fruitiers | 0 | 0 | 8,5 | 5,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54,1 [33,2 ; 67,4] |
| Autres cultures permanentes | 46 [14 ; 79] | 13 [4 ; 23] | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 4 [0 ; 9] | 9 | 54,1 [33,2 ; 67,4] |
| Oliveraies | 0 | 0 | 9,1 | 2,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54 [33 ; 67] |
| Vignes | 0 | 0 | 5,5 | 4,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54 [33 ; 67] |
| Prairies temporaires et jachères | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 0 | 0 | 0 | 76 [45 ; 97] |

*moyenne [min, max]*

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en terres cultivées (ou entre sous-catégories de terres cultivées). Il s'agit de :

- gains maximums annuels de référence à appliquer à la maille devenue terres cultivées dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- pertes maximums annuelles de référence à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

**Tableau 284 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tC/ha/an* | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Cultures annuelles | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,22 |
| Cultures permanentes indéfinies | 0 | 0 | 0,14 | 0,11 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,22 |
| Fruitiers | 0 | 0 | 0,43 | 0,29 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,22 |
| Autres cultures permanentes | 1,1 [0,4 ; 2] | 0,3 [0,1 ; 0,6] | 0 | 0 | 4 | 6 | 0,1 [0 ; 0,23] | 0,5 | 1,22 |
| Oliveraies | 0 | 0 | 0,46 | 0,13 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,22 |
| Vignes | 0 | 0 | 0,28 | 0,22 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,22 |
| Prairies temporaires et jachères | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,22 |

*moyenne [min, max]*

**Tableau 285 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres cultivées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tC/ha/an* | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Cultures annuelles | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -1,22 |
| Cultures permanentes indéfinies | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -1,22 |
| Fruitiers | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -1,22 |
| Autres cultures permanentes | 0 | 0 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | 0 | 0 | -1,22 |
| Oliveraies | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -1,22 |
| Vignes | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -1,22 |
| Prairies temporaires et jachères | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -1,22 |

#### 1.1.1.18 Terres cultivées restant terres cultivées (4B1)

La catégorie « Terres cultivées restant terres cultivées » inclut des terres changeant de sous-catégories, par exemple des conversions entre cultures annuelles, cultures pérennes et prairies temporaires ; et des terres restant dans la même sous-catégorie.

***Biomasse vivante (terres cultivées restant terres cultivées) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]***

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (cultures annuelles, cultures pérennes ou prairies temporaires), on estime les pertes et gains de biomasse en différenciant différents types de biomasse : biomasse ligneuse type forêt [lb_f], biomasse ligneuse type culture pérenne [lb_cp], biomasse herbacée type culture annuelle [lb_ca] et biomasse herbacée type herbe [lb_hh]. En effet, les stocks de référence de carbone dans la biomasse peuvent être différents selon les cas. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF – général*).

*Flux estimés en complément [lb_cp]*

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, on estime des flux complémentaires pour la croissance nette de la biomasse. L'IFN ne couvrant pas ces terres dans son inventaire, il n'existe pas non plus de données précises sur l'accroissement annuel ou les prélèvements de la biomasse ligneuse des terres cultivées qui permettrait d'appliquer une véritable « méthode des flux » (gains - pertes). Il est donc considéré que l'accroissement compense le prélèvement sur la récolte pour les terres de cette catégorie. La biomasse récoltée est supposée être uniquement à destination du bois de feu laquelle est estimée au travers de statistiques de consommation énergétique (méthode et valeurs décrites dans la section *Biomasse vivante – Forêt restant Forêts, voir tableau Récoltes de bois*). Si le modèle de variation de stock à la maille détecte des pertes de biomasse ligneuse liées aux changements d'usage des terres, ces flux sont déduits des récoltes de bois hors forêt. Le flux final (récoltes moins volume issu des changements d'usage) permet d'estimer les récoltes en cultures restant cultures. Ce flux est affecté à la catégorie vergers, et des gains du même ordre sont appliqués pour la repousse.

Du brûlage de résidus est associé à la récolte de bois énergie en vignes et vergers. Comme pour le brûlage des rémanents en forêt, celui-ci génère différents gaz à effet de serre directs et indirects en plus du $CO_2$. Ces émissions sont estimées à partir des facteurs d'émission du GIEC 2006 (voir équation dans la partie Forêts 4A).

Des flux de carbone dans la biomasse liés à l'évolution du linéaire de haies en cultures sont pris en compte. La méthodologie est décrite dans la section *UTCATF – général*.

***Bois mort (terres cultivées restant terres cultivées) [dw]***

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (cultures annuelles, cultures pérennes ou prairies temporaires), on estime les pertes et gains de bois mort. En effet, les stocks de référence de carbone dans le bois mort peuvent être différents selon les sous-catégories. Ils sont nuls pour la plupart des sous-catégories des Terres cultivées. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF – général*). Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

*Flux estimés en complément*

***Litière (terres cultivées restant terres cultivées) [lt]***

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (cultures annuelles, cultures pérennes ou prairies temporaires), on estime les pertes et gains de litière. En effet, les stocks de référence de carbone dans la litière peuvent être différents selon les cas. Ils sont nuls pour la plupart des sous-catégories des Terres cultivées. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF – général*). Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

*Flux estimés en complément*

***Matière organique du sol (terres cultivées restant terres cultivées) – sols minéraux [s_min]***

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les terres cultivées restant terres cultivées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (cultures annuelles, cultures pérennes ou prairies temporaires), on estime les variations de stocks de carbone dans les sols minéraux. Les stocks de référence de carbone dans les sols minéraux varient selon les sous-catégories et selon l'année.

La méthode détaillée sur l'estimation des stocks de carbone dans les sols se trouve en section UTCATF générale. Le stock de référence pour la calibration du modèle se base sur l'équation suivante :

**Équation 30 (UTCATF)**
**inspirée de l'équation 2.25 du Giec 2006 [672]**

$$COS_{X,n} = COS_{REF} * F_{UT,X} * \sum_{i}^{n} \%_{RG_{i,X,n}} * F_{RG_i} * \sum_{i}^{n} \%_{A_{i,X,n}} * F_{A_i}$$

Avec :

Les stocks de référence dans les sols minéraux varient selon l'année car ils sont issus d'une modulation d'un stock de référence ($COS_{REF}$) par l'occupation du sol et les pratiques culturales. Les variations de stock liées aux changements de pratiques agricoles (travail du sol, type et quantité d'apport) sont estimées conformément aux lignes directrices 2006 et au raffinement 2019 du Giec [672, 1229]. Les facteurs issus du raffinement 2019 [1229] sont appliqués sur la base des données issues des enquêtes Pratiques culturales disponibles pour les années 1994, 2001, 2006, 2011 et 2017 [485]. Pour chaque classe d'occupation du sol (ex. 11bh blé tendre d'hiver), des données de pratiques sont disponibles et permettent d'affiner le stock cible du modèle de variation de stock par maille chaque année. Elles ne sont pas disponibles par région pour l'ensemble de la série temporelle, les tendances nationales sont donc utilisées. Une série temporelle du stock de référence pour le compartiment sols minéraux [s_min] est estimée pour chaque sous-catégorie d'usage.

*Choix du paramètre de stock de référence ($COS_{REF}$)*

Le paramètre $COS_{REF}$ choisi correspond à la moyenne entre la médiane des stocks forestiers et des stocks sous prairies régionaux issus du RMQS [424] (pondérés par le nombre de relevés). Il varie par zone pédoclimatique. Ils sont référencés en section UTCATF générale.

*Catégorisation selon le facteur d'utilisation des terres ($F_{UT}$)*

Le paramètre $F_{UT}$ est issu du raffinement 2019 du Giec [1229], et varie selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille. Le facteur est différent pour les cultures annuelles, les cultures pérennes et les jachères. Ils sont référencés en section UTCATF générale.

*Catégorisation selon le facteur lié au travail du sol ($F_{RG}$)*

Le paramètre $F_{RG}$ est issu du raffinement 2019 du Giec [1229], et varie selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille. Ses valeurs sont référencées en section UTCATF générale.

Le travail du sol est un des paramètres les plus importants pour l'estimation des flux de carbone des sols en France. En effet le travail du sol influe fortement les stocks de carbone du sol selon le Giec et les pratiques associées ont significativement évolué durant la période couverte par l'inventaire avec une forte diminution du labour au profit des techniques culturales simplifiées.

En termes de travail du sol, trois modalités ont été identifiées en lien avec les facteurs correcteurs proposés par le Giec : le labour, les techniques culturales simplifiées (TCS) et le semis direct (Semis d.). La part de chaque régime de gestion pour les différentes catégories de cultures est estimée à partir des enquêtes Pratiques culturales du Ministère de l'Agriculture disponibles pour les années 1994, 2001, 2006,2011 et 2017 [485]. Ces données concernent les cultures principales en France.

**Tableau 286 : Part du régime de gestion ($\%RG_{i,x}$) issu des pratiques culturales pour les différents types de cultures [485] (métropole)**

| | | Blé tendre | Blé dur | Orge d'hiver | Orge de printemps | Autres céréales | Maïs grain | Maïs fourrage | Colza | Tournesol | Autres oléagineux | Pois | Autres protéagineux | Betterave | Pomme de terre | Autres cultures |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1994 | Labour | 88% | 63% | 95% | 95% | 88% | 98% | 98% | 82% | 94% | 82% | 98% | 98% | 85% | 89% | 88% |
| | TCS | 12% | 37% | 5% | 5% | 12% | 2% | 2% | 18% | 6% | 18% | 2% | 2% | 15% | 11% | 12% |
| | Semis d. | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 2001 | Labour | 74% | 51% | 85% | 83% | 74% | 87% | 92% | 78% | 92% | 78% | 91% | 91% | 85% | 89% | 74% |
| | TCS | 26% | 49% | 15% | 17% | 26% | 13% | 8% | 22% | 8% | 22% | 9% | 9% | 15% | 11% | 26% |
| | Semis d. | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 2006 | Labour | 56% | 42% | 72% | 72% | 56% | 84% | 84% | 53% | 75% | 53% | 87% | 87% | 85% | 92% | 56% |
| | TCS | 44% | 55% | 28% | 28% | 44% | 16% | 16% | 47% | 24% | 47% | 13% | 13% | 15% | 8% | 44% |
| | Semis d. | 1% | 3% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% |
| 2011 | Labour | 56% | 42% | 69% | 69% | 56% | 82% | 85% | 49% | 72% | 49% | 70% | 70% | 86% | 86% | 56% |
| | TCS | 40% | 54% | 30% | 30% | 40% | 18% | 15% | 51% | 27% | 51% | 28% | 28% | 14% | 14% | 40% |
| | Semis d. | 4% | 4% | 1% | 1% | 4% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 2% | 2% | 0% | 0% | 4% |
| 2017 | Labour | 41% | 35% | 56% | 56% | 41% | 71% | 77% | 33% | 62% | 33% | 62% | 62% | 80% | 78% | 41% |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TCS | 55% | 61% | 42% | 42% | 55% | 28% | 22% | 64% | 38% | 64% | 34% | 34% | 20% | 22% | 55% |
| | Semis d. | 4% | 4% | 2% | 2% | 4% | 1% | 1% | 3% | 0% | 3% | 3% | 3% | 0% | 0% | 4% |

*Catégorisation selon le facteur lié aux apports ($F_A$)*

Les apports (intrants) sont un paramètre clé dans l'estimation des variations du carbone du sol. Il s'agit en premier lieu des apports organiques mais les engrais minéraux peuvent également être intégrés car la fertilisation permet d'augmenter la production de biomasse et donc potentiellement les retours de carbone au sol.

Le paramètre $F_A$ est issu du raffinement 2019 du Giec [1229], et varie selon la zone climatique dans laquelle se trouve la maille. Ses valeurs sont référencées en section *UTCATF générale*.

Le Giec propose de caractériser le niveau d'apport selon quatre modalités qualitatives : apports faibles, apports moyens, apports élevés sans fumier, apports élevés avec fumier. Pour caractériser les surfaces de culture selon ce gradient, trois paramètres ont pu être exploités au niveau français : le taux de retour des résidus de culture au sol, l'apport de fumure organique et la présence d'une culture intermédiaire durant l'interculture.

Le taux de retour des résidus au sol a pu être pris en compte grâce aux enquêtes 2001, 2006 et 2011. Le devenir des résidus de la culture précédente étant connu (résidus récoltés, brûlés, laissé sur place), des valeurs pour les années 2000, 2005 et 2010 ont pu être estimées.

De même des informations qualitatives sur les surfaces ayant reçu des amendements organiques ou ayant mis en place des cultures intermédiaires ont pu être intégrées dans la catégorisation des terres selon la classification Giec. Les terres ont été classées selon le protocole d'allocation suivant :

**Tableau 287 : Protocole d'allocation entre les catégories Giec**

| Résidus laissés au champ ? | Culture intermédiaire ? | Fumure organique ? | Apports A. faibles | A. moyens | A. élevés | A. élevés + Fumier |
|---|---|---|---|---|---|---|
| OUI | OUI | OUI | | | | X |
| | | NON | | | X | |
| | NON | OUI | | X | | |
| | | NON | | X | | |
| NON | OUI | OUI | | X | | |
| | | NON | X | | | |
| | NON | OUI | X | | | |
| | | NON | X | | | |

**Tableau 288 : Part du régime d'apport (%$A_{i,x}$) issu des pratiques culturales pour les différents types de cultures [485] (métropole)**

| | | Blé tendre | Blé dur | Orge d'hiver | Orge de printemps | Autres céréales | Maïs grain | Maïs fourrage | Colza | Tournesol | Autres oléagineux | Pois | Autres protéagineu | Betterave | Pomme de terre | Autres cultures |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2000 | A. faibles | 56% | 35% | 76% | 50% | 56% | 1% | 5% | 3% | 1% | 3% | 15% | 15% | 2% | 6% | 56% |
| | A. moyens | 44% | 64% | 24% | 48% | 44% | 81% | 82% | 97% | 96% | 97% | 67% | 67% | 50% | 61% | 44% |
| | A. élevés | 0% | 1% | 0% | 2% | 0% | 12% | 2% | 0% | 3% | 0% | 18% | 18% | 24% | 17% | 0% |
| | A. élevés+ | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% | 11% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 24% | 15% | 0% |
| 2005 | A. faibles | 38% | 23% | 43% | 39% | 38% | 0% | 5% | 3% | 2% | 3% | 9% | 9% | 2% | 9% | 38% |
| | A. moyens | 62% | 76% | 57% | 59% | 62% | 82% | 82% | 97% | 95% | 97% | 72% | 72% | 50% | 60% | 62% |
| | A. élevés | 0% | 1% | 0% | 2% | 0% | 12% | 2% | 0% | 3% | 0% | 19% | 19% | 24% | 16% | 0% |
| | A. élevés+ | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 6% | 11% | 0% | 0% | 0% | 1% | 1% | 24% | 14% | 0% |
| 2010 | A. faibles | 50% | 34% | 50% | 50% | 50% | 0% | 5% | 3% | 2% | 3% | 8% | 8% | 2% | 11% | 50% |
| | A. moyens | 50% | 66% | 46% | 46% | 50% | 80% | 74% | 97% | 82% | 97% | 58% | 58% | 25% | 37% | 50% |
| | A. élevés | 0% | 0% | 4% | 4% | 0% | 13% | 4% | 0% | 14% | 0% | 31% | 31% | 32% | 33% | 0% |
| | A. élevés+ | 0% | 0% | 1% | 1% | 0% | 7% | 17% | 0% | 3% | 0% | 3% | 3% | 41% | 18% | 0% |
| 2017 | A. faibles | 50% | 52% | 46% | 46% | 50% | 2% | 4% | 6% | 2% | 6% | 7% | 7% | 3% | 0% | 50% |
| | A. moyens | 49% | 48% | 47% | 47% | 49% | 54% | 46% | 94% | 47% | 94% | 51% | 51% | 11% | 17% | 49% |
| | A. élevés | 1% | 0% | 6% | 6% | 1% | 30% | 8% | 0% | 46% | 0% | 39% | 39% | 39% | 54% | 1% |
| | A. élevés+ | 0% | 0% | 1% | 1% | 0% | 15% | 42% | 0% | 5% | 0% | 3% | 3% | 47% | 29% | 0% |

**Figure 208 : Exemple d'évolution du stock de référence liés aux pratiques culturales pour les cultures de blé tendre**

En Outre-mer, faute de données sur les changements de pratiques, aucune variation de stock de carbone des sols minéraux en cultures restant cultures n'est estimée.

*Flux estimés en complément*

*Emissions de $N_2O$ associées*

L'estimation des émissions *directes* de $N_2O$ liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C:N (15, ou 10 dans le cas des variations entre catégories de cultures), et le facteur d'émission de 0.01 tN-N2O/tN. L'estimation des émissions *indirectes* de N2O liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-N2O/tN (table 11.3). Néanmoins, comme les terres cultivées sans changement voient leur stock de carbone du sol augmenter, aucune émission de $N_2O$ associée à la perte de carbone (minéralisation) n'a lieu.

***Matière organique du sol (terres cultivées restant terres cultivées) – sols organiques***

Les sols organiques cultivés génèrent des émissions de CO2, de CH4 et de N2O liées à leur drainage. Les surfaces de sols organiques sont obtenues de manière spatialement explicite en utilisant plusieurs jeux de données cartographiques pertinents, que ce soit pour la métropole (Base de données des inventaires des tourbières en France métropolitaine [1202]) ou pour la Guyane [720]. Ces cartes sont croisées avec le modèle de suivi des terres spatialement explicite Citepa pour la métropole ou avec des cartes d'occupation du sol (Corine Land Cover) pour la Guyane afin de caractériser les surfaces par usage des terres. Les surfaces des sols organiques classées en terres cultivées sont par défaut considérées comme drainées et par conséquent source d'émission, les facteurs d'émissions appliqués proviennent du Supplément du GIEC sur les Zones Humides [923] (voir plus bas).

#### 1.1.1.19 Terres devenant terres cultivées (4B2)

***Biomasse vivante (terres devenant terres cultivées) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]***

Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la partie *4B. Terres cultivées*. La série temporelle des flux de $CO_2$ liées aux conversions de terres par sous-catégorie de culture pérenne est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Des émissions complémentaires de $CH_4$, de $N_2O$ et de polluants associés au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, qu'elle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de $CH_4$, de $N_2O$ et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] – voir ci-après.

***Bois mort (terres devenant terres cultivées) [dw]***

Les variations de stocks du compartiment bois mort pour les terres devenant terres cultivées sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Pour la majorité des sous-catégories, le stock est nul, et les flux de pertes sont calibrés pour déstocker en 1 an le stock préexistant. Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début du chapitre 4B. Terres cultivées.

***Litière (terres devenant terres cultivées) [lt]***

Les variations de stocks du compartiment litière pour les terres devenant terres cultivées sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Pour la majorité des sous-catégories, le stock est nul, et les flux de pertes sont calibrés pour déstocker en 1 an le stock préexistant. Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début du chapitre 4B. Terres cultivées.

***Matière organique du sol (terres devenant terres cultivées) – sols minéraux [s_min]***

Les variations de stocks du compartiment sols minéraux pour les terres devenant terres cultivées sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Il peut s'agir, selon les cas, d'une émission ou d'une absorption de carbone. La méthode de calcul des flux sur les sols lors des changements d'utilisation des terres est décrite plus en détail dans la partie générique.

S'il s'agit d'une perte de carbone, elle s'accompagne également d'une perte de l'azote contenu dans le sol sous forme de $N_2O$ (Giec 2006 [672]). Cette émission de $N_2O$ n'est pas liée à l'utilisation de fertilisants azotés en agriculture mais à la symbiose des cycles de l'azote et du carbone dans les sols. On notera que dans le cas d'une transition inverse (passage d'une terre cultivée vers un autre usage), le gain en carbone n'est pas associé à un puits de $N_2O$.

La série temporelle des flux de $CO_2$ liées aux conversions de terres par sous-catégorie de culture pérenne est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

## 6.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). L'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 3ème niveau de la catégorie CRT (i.e. 4.B1 et 4.B2).

Depuis l'édition d'inventaire 2016, l'incertitude des émissions de $CO_2$ du secteur des cultures est estimée à partir d'une méthode de type Monte-Carlo permettant d'intégrer un maximum les interdépendances entre les sous-catégories. Sur le secteur dans son ensemble l'incertitude estimée sur ces émissions atteint la valeur de 41%, car les flux sont fortement incertains et les flux observés dépendent surtout des changements de prairies vers cultures. La majorité de l'incertitude est associée à l'impact du changement sur les stocks de carbone du sol.

Les incertitudes sur les émissions de $CH_4$ et de $N_2O$ sont de 100% pour chaque polluant. Ceci est basé sur l'avis des experts sectoriels.

La méthodologie employée est la même tout au long de la période afin de garantir la cohérence temporelle. Les changements méthodologiques, lorsqu'ils adviennent, sont reportés sur l'ensemble de la période pour conserver cette cohérence.

## 6.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Les valeurs utilisées dans cette catégorie de l'inventaire sont pour la plupart issues de travaux nationaux. Les données source font l'objet, en amont, de validation statistique.

Une comparaison entre ces données nationales et des valeurs par défaut serait envisageable. Le modèle de variation de stock à la maille prend désormais en compte des stocks de biomasse non ligneuse, issues de données nationales. Elles pourraient être comparées aux valeurs par défaut transmises par le Giec (Giec, 2006, vol 4. Chap 5, Table 5.9, chap 6 Table 6.4).

## 6.5.5 Recalculs

**Impacts des recalculs du CRT 4B**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 26 336 | 23 699 | 15 414 | 12 851 | 19 772 | 19 333 | 17 666 | 16 337 | 15 673 | 15 273 | 12 321 | 11 486 | 10 475 | 11 903 | 9 957 | 10 018 | 9 941 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 29 317 | 25 995 | 17 494 | 13 978 | 21 577 | 21 277 | 19 711 | 18 472 | 17 713 | 17 232 | 15 225 | 14 530 | 13 325 | 14 492 | 12 675 | 12 684 | 12 335 | 12 437 |
| Différence | kt CO2e | +2 981 | +2 296 | +2 079 | +1 127 | +1 805 | +1 943 | +2 045 | +2 135 | +2 040 | +1 959 | +2 904 | +3 044 | +2 850 | +2 589 | +2 718 | +2 667 | +2 394 | +12 437 |
| | % | +11% | +10% | +13% | +9% | +9% | +10% | +12% | +13% | +13% | +13% | +24% | +27% | +27% | +22% | +27,29% | +27% | +24% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /4.B

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

- De nouvelles modifications ont été faites concernant le suivi des terres spatialement explicite dans le cadre de l'amélioration continue de la méthode. Cela impacte l'ensemble de la série temporelle sur les surfaces et les changements d'utilisation des terres. Les données d'activités sont modifiées et génèrent des recalculs pour toutes les années.
    - Les dynamiques de déboisement ont notamment été mises à jour en début et fin de série temporelle, avec un travail sur la répartition des défrichements vers cultures ou prairies. La perte de biomasse forestière associée (et autres compartiments dans une moindre mesure) crée de forts recalculs en cultures.
    - Le modèle de rotation entre usages agricoles a été mis à jour également.
- Les surfaces de sols organiques drainés ont été mises à jour sur la base d'un nouveau produit cartographique, et reliées au modèle de suivi des terres pour éviter les doubles comptes avec les calculs relatifs aux sols minéraux.

**Raisons et justifications des recalculs**

- La modification du mode de suivi des terres permet de répondre aux nouvelles exigences du règlement LULUCF 2018/841 ainsi que Gouvernance 2018/1899. Elle permet d'améliorer la transparence des surfaces de changements d'usage des terres et sert de squelette au nouveau mode d'estimation de variation de stock de carbone à la maille par compartiment.

## 6.5.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2022, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| Sector / CRF category / issue | Review recommendation | Review report/ paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| **LULUCF**<br>4.B.1 Cropland remaining cropland – CO2 (L.22, 2021), (L.35, 2019) Accuracy | Distinguish between perennial and annual crops in the area data for its overseas territories, using, in the absence of country-specific information, default carbon stock change factors from tables 5.1–5.3 of the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4).<br>Not resolved. France reported in the NIR (section 6.3.1, p.615) that a carbon stock change factor of 10 t C/ha was used for all crops in the overseas territories, except for Reunion, where the forest biomass stock value is very low (5 t C/ha), and that the estimated value for stocks outside forest land is 0 t C/ha. The ERT noted that perennial and annual crop areas are not distinguished for overseas territories. During the review, the Party clarified that it has not yet addressed this issue because perennial and annual crop areas are not distinguished in data available for overseas territories. However, in the next few years, it plans to develop a new spatially explicit approach for monitoring land-use change that distinguishes between annual and perennial cropland (and between vineyards and other perennial crops). This approach, which has been tested in mainland France, will be applied for the overseas territories, and for fruit trees in particular. Further information on the new approach will be reported in the 2023 annual submission. | 2022 Review ARR / L.8 | Not yet implemented.<br>Lot of efforts have been put to continue the implementation of the spatially-explicit approach for tracking land-use change areas. Some other items remains to be improved or implemented such as precision in overseas land use categories, during 2025 tests will be carried out to deploy the spatially explicit land use method overseas. |

## 6.5.7 Améliorations envisagées

***Sols***

Plusieurs projets étaient à l'étude pour mieux appréhender la dynamique de carbone des sols en France (Etude C-SOPRA [962] [34] , Etude 4 pour 1000 [963]).

**Conclusions de l'étude CSOPRA [962]**

Le projet Csopra, dont l'objectif principal est d'ordre méthodologique, a été conçu pour tester diverses méthodes d'inventaire des terres cultivées et définir les étapes futures de la mise en œuvre des approches dites de Tier 3 pour la France. L'approche mobilise à la fois une base de données de suivis long terme la base AIAL et la base de données d'un réseau de niveau d'incertitude raisonnable et des tendances similaires pour chaque modèle mécaniste, lorsque ceux-ci sont corrigés par une fonction d'erreur calibrée sur la base AIAL. Le projet a souligné la nécessité d'intégrer les données des systèmes de surveillance à différentes échelles, à la fois des suivis long terme et des réseaux de surveillance, avec des modèles mécanistes et statistiques, afin de produire des estimations nationales dont l'incertitude est

[34] Martin, M., Dimassi, B., Millet, F., Picaud, C., Bounoua, E.-M., Bardy, M., Bispo, A., Boulonne, L., Bouthier, A., Duparque, A., Eglin, T., Guenet, B., Huard, F., Mary, B., Mathias, E., Mignolet, C., Robert, C., Saby, N., Sagot, S., Schott, C., Toutain, B., Trochard, R., 2019. Méthodes de comptabilisation du stockage de carbone organique des sols sous l'effet des pratiques culturales (CSopra). 308p.

surveillance des sols, le Réseau de Mesure de la qualité des sols (RMQS). Dans ce cadre, les modèles Century, RothC, AMG et ORCHIDEE ont été évalués et les comparés à l'approche Tier 1. Il a été montré que i) les modèles mécanistes les plus simples donnaient de meilleurs résultats que les modèles plus complexes et que ii) le forçage de carbone dans les sols, basé sur des statistiques agricoles de rendement était plus efficace que la simulation explicite de ces entrées dans des modèles. Les estimations au niveau national présentaient un quantifiée. Parmi les résultats du projet Csopra figurent des recommandations sur le type de modèles mécanistes pouvant être utilisés pour les inventaires nationaux, la cartographie à haute résolution des évolutions passées et futures du COS et une méthode permettant de proposer de nouvelles estimations des facteurs d'émission utilisables dans les approches Tier 2.

L'adoption d'un modèle de variation de stock à la maille sur la base des données de pratiques culturales et des cultures issues des déclarations PAC (produit cartographique RPG) constitue une amélioration significative des estimations du carbone des sols en cultures et prairies permanentes. Les stocks de référence sont des stocks nationaux (RMQS), et ils pourront être comparés avec les données Giec par défaut dans de futures analyses. Les facteurs d'ajustement utilisés sont toujours des facteurs Giec, issus du Raffinement 2019 désormais, mais leur application est fine (chaque maille de 0,25 ha a une zone climatique et des pratiques culturales spécifiques).

La deuxième campagne (2016-2027) de mesure du réseau de la qualité des sols (RMQS) devrait fournir des éléments précis d'évolution du carbone des sols agricoles sur la dernière décennie. Si les différences de stock observés entre deux campagnes sont significatives, une approche par variation de stock par type d'usage des terres pourra être envisagée, et comparée avec la méthode de variation de stock par maille basée sur les facteurs d'ajustement du Giec. Des premiers résultats intermédiaires sont espérés avant la fin de la campagne en 2027, car les points d'échantillonnage sont répartis de manière régulière sur tout le territoire chaque année.

***Biomasse***

Les valeurs de stock de référence ont été modifiées pour le modèle de variation de stock à la maille pour les cultures pérennes. Pour le moment ce sont des valeurs uniformes à l'échelle nationale. Pour les vignes, il serait possible de varier la valeur de stock de biomasse en fonction des régions en faisant varier le paramètre de nombre de cep à l'ha de 8 000 pieds/ha en Champagne-Ardenne, 4 500 pieds/ha en Pays de la Loire, 6 000 pieds/ha en Aquitaine et conserver la valeur de 5 000 pieds/ha pour les autres régions, d'après [493 p.60].

Enfin, l'estimation de stocks de biomasse en cultures pérennes en Outre-Mer pourrait être améliorée. Néanmoins, le suivi des terres en Outre-Mer inclus dans l'UE ne permet pas de distinguer les cultures des cultures pérennes (voir § 1.1.3.4.1), donc des hypothèses et des données supplémentaires seraient nécessaires. Des travaux supplémentaires sur le suivi des terres en Outre-Mer seraient alors nécessaires.

# 6.6 Prairies (CRT 4C)

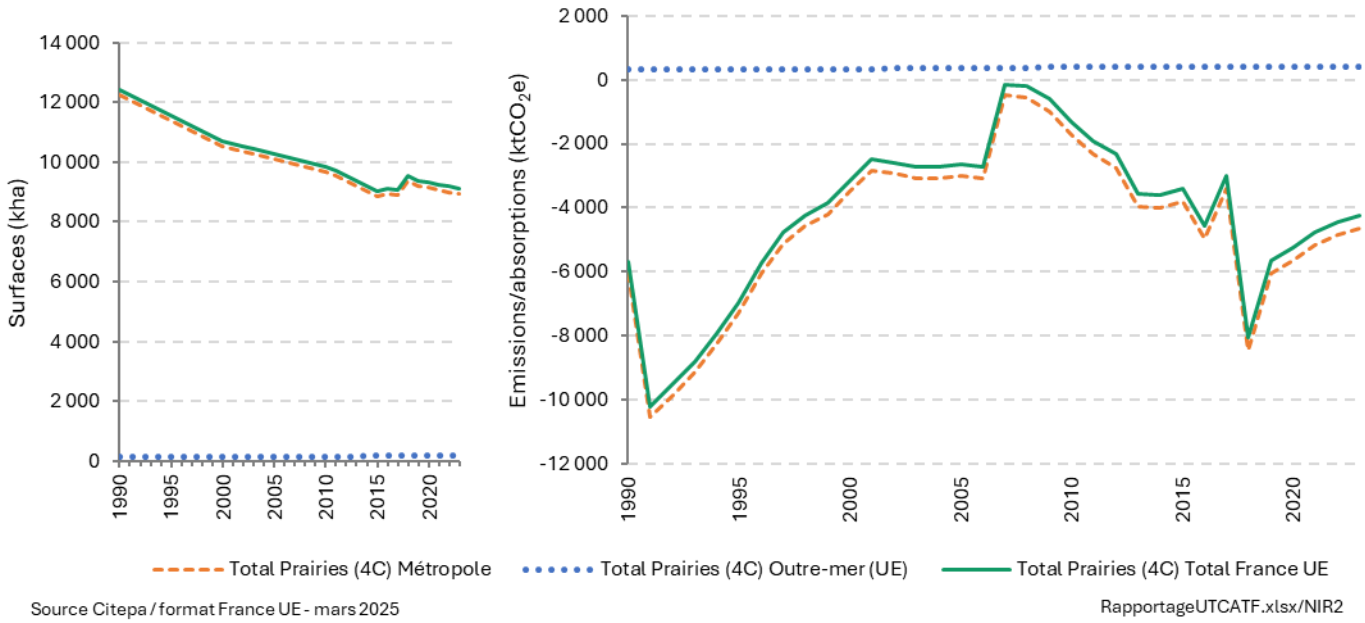
## 6.6.1 Caractéristiques de la catégorie

Les surfaces en prairies couvrent 9.1 millions d'hectares en France en 2023. La tendance globale des prairies est à la baisse sur la période couverte au profit des terres forestières, des terres cultivées et de l'urbanisation.

L'évolution du puits observée sur la période est liée à la baisse de conversions de cultures vers prairies, les émissions et absorptions estimées sur les prairies restant prairies demeurant très faibles.

En prairies restant prairies, les émissions et absorptions estimées pour la biomasse ligneuse des haies et bosquets, sont dues aux conversions entre les sous-catégories de prairies, sur les terres sans aucun changement il est considéré que les émissions sont compensées par l'accroissement.

**Figure 209 : Surfaces et Emissions / Absorptions en prairies**




Source Citepa / format France UE - mars 2025

RapportageUTCATF.xlsx/NIR2

**Tableau 289 : Surfaces en prairies (en milliers d'ha)**

| | Surfaces (kha) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Prairies (4C) | | | Prairies restant Prairies (4C1) | | | Terres devenant Prairies (4C2) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | 12 239 | 165 | 12 404 | 9 910 | 127 | 10 036 | 2 329 | 38 | 2 367 |
| 1991 | 12 075 | 165 | 12 240 | 9 813 | 127 | 9 940 | 2 262 | 39 | 2 301 |
| 1992 | 11 910 | 165 | 12 075 | 9 714 | 127 | 9 841 | 2 196 | 39 | 2 234 |
| 1993 | 11 739 | 166 | 11 905 | 9 613 | 127 | 9 739 | 2 127 | 39 | 2 166 |
| 1994 | 11 572 | 166 | 11 738 | 9 513 | 127 | 9 639 | 2 059 | 39 | 2 099 |
| 1995 | 11 404 | 166 | 11 571 | 9 415 | 127 | 9 541 | 1 990 | 40 | 2 029 |
| 1996 | 11 233 | 166 | 11 399 | 9 311 | 127 | 9 437 | 1 922 | 40 | 1 962 |
| 1997 | 11 061 | 167 | 11 228 | 9 207 | 127 | 9 334 | 1 854 | 40 | 1 894 |
| 1998 | 10 890 | 167 | 11 057 | 9 102 | 126 | 9 229 | 1 788 | 40 | 1 829 |
| 1999 | 10 710 | 167 | 10 877 | 8 989 | 126 | 9 116 | 1 721 | 41 | 1 761 |
| 2000 | 10 529 | 167 | 10 696 | 8 860 | 126 | 8 986 | 1 669 | 41 | 1 710 |
| 2001 | 10 447 | 168 | 10 615 | 8 815 | 126 | 8 941 | 1 632 | 41 | 1 673 |
| 2002 | 10 361 | 168 | 10 529 | 8 763 | 126 | 8 889 | 1 599 | 41 | 1 640 |
| 2003 | 10 276 | 168 | 10 444 | 8 707 | 126 | 8 833 | 1 569 | 42 | 1 611 |
| 2004 | 10 193 | 168 | 10 361 | 8 648 | 126 | 8 774 | 1 545 | 42 | 1 587 |
| 2005 | 10 110 | 169 | 10 278 | 8 593 | 126 | 8 720 | 1 516 | 42 | 1 559 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2006 | 10 024 | 169 | 10 193 | 8 532 | 126 | 8 659 | 1 492 | 42 | 1 534 |
| 2007 | 9 941 | 169 | 10 110 | 8 463 | 126 | 8 589 | 1 478 | 43 | 1 521 |
| 2008 | 9 857 | 169 | 10 026 | 8 393 | 126 | 8 519 | 1 464 | 43 | 1 507 |
| 2009 | 9 774 | 170 | 9 944 | 8 318 | 127 | 8 445 | 1 455 | 43 | 1 499 |
| 2010 | 9 686 | 171 | 9 857 | 8 230 | 127 | 8 356 | 1 457 | 44 | 1 501 |
| 2011 | 9 533 | 171 | 9 704 | 8 076 | 127 | 8 203 | 1 457 | 45 | 1 501 |
| 2012 | 9 371 | 172 | 9 543 | 7 918 | 127 | 8 045 | 1 453 | 45 | 1 498 |
| 2013 | 9 208 | 173 | 9 381 | 7 762 | 127 | 7 889 | 1 446 | 46 | 1 492 |
| 2014 | 9 041 | 174 | 9 215 | 7 603 | 127 | 7 730 | 1 438 | 46 | 1 485 |
| 2015 | 8 876 | 174 | 9 050 | 7 446 | 128 | 7 574 | 1 430 | 47 | 1 477 |
| 2016 | 8 939 | 175 | 9 114 | 7 422 | 128 | 7 549 | 1 518 | 47 | 1 565 |
| 2017 | 8 894 | 176 | 9 069 | 7 391 | 128 | 7 519 | 1 502 | 48 | 1 550 |
| 2018 | 9 356 | 176 | 9 532 | 7 385 | 128 | 7 513 | 1 971 | 48 | 2 019 |
| 2019 | 9 186 | 177 | 9 363 | 7 240 | 128 | 7 368 | 1 946 | 49 | 1 994 |
| 2020 | 9 138 | 178 | 9 316 | 7 208 | 128 | 7 336 | 1 930 | 49 | 1 980 |
| 2021 | 9 069 | 178 | 9 248 | 7 178 | 129 | 7 307 | 1 891 | 50 | 1 941 |
| 2022 | 9 004 | 179 | 9 183 | 7 151 | 129 | 7 280 | 1 853 | 50 | 1 903 |
| 2023 | 8 943 | 180 | 9 123 | 7 123 | 129 | 7 252 | 1 820 | 51 | 1 871 |

**Tableau 290 : Emissions / Absorptions en prairies (en kt $CO_2e$)**

| | Emissions / Absorptions ($ktCO_2e$) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Prairies (4C) | | | Prairies restant Prairies (4C1) | | | Terres devenant Prairies (4C2) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | -6 037 | 331 | -5 705 | -897 | 9 | -888 | -5 140 | 323 | -4 817 |
| 1991 | -10 567 | 333 | -10 234 | -956 | 9 | -948 | -9 611 | 324 | -9 287 |
| 1992 | -9 858 | 335 | -9 523 | -1 099 | 9 | -1 090 | -8 759 | 326 | -8 433 |
| 1993 | -9 143 | 336 | -8 806 | -1 248 | 9 | -1 239 | -7 895 | 327 | -7 568 |
| 1994 | -8 264 | 338 | -7 927 | -1 300 | 9 | -1 291 | -6 965 | 329 | -6 636 |
| 1995 | -7 315 | 340 | -6 976 | -1 364 | 9 | -1 355 | -5 951 | 331 | -5 621 |
| 1996 | -6 059 | 341 | -5 717 | -1 344 | 9 | -1 335 | -4 715 | 332 | -4 383 |
| 1997 | -5 124 | 343 | -4 781 | -1 149 | 9 | -1 140 | -3 975 | 334 | -3 641 |
| 1998 | -4 582 | 344 | -4 237 | -921 | 9 | -912 | -3 661 | 336 | -3 325 |
| 1999 | -4 190 | 346 | -3 844 | -695 | 9 | -686 | -3 495 | 337 | -3 158 |
| 2000 | -3 501 | 348 | -3 153 | -531 | 9 | -522 | -2 970 | 339 | -2 631 |
| 2001 | -2 825 | 349 | -2 476 | -491 | 9 | -482 | -2 334 | 340 | -1 994 |
| 2002 | -2 941 | 351 | -2 590 | -543 | 9 | -534 | -2 398 | 342 | -2 056 |
| 2003 | -3 087 | 352 | -2 735 | -665 | 9 | -656 | -2 422 | 343 | -2 079 |
| 2004 | -3 068 | 354 | -2 714 | -683 | 9 | -674 | -2 385 | 345 | -2 040 |
| 2005 | -2 991 | 355 | -2 636 | -549 | 9 | -540 | -2 442 | 347 | -2 096 |
| 2006 | -3 095 | 357 | -2 738 | -437 | 9 | -428 | -2 657 | 348 | -2 309 |
| 2007 | -491 | 358 | -133 | -337 | 9 | -329 | -154 | 350 | 196 |
| 2008 | -542 | 360 | -182 | -275 | 9 | -267 | -266 | 351 | 85 |
| 2009 | -997 | 414 | -583 | -102 | 9 | -94 | -894 | 405 | -490 |
| 2010 | -1 736 | 414 | -1 322 | -431 | 9 | -422 | -1 305 | 405 | -900 |
| 2011 | -2 316 | 415 | -1 902 | -759 | 9 | -750 | -1 557 | 406 | -1 152 |
| 2012 | -2 745 | 415 | -2 330 | -979 | 9 | -970 | -1 766 | 406 | -1 360 |
| 2013 | -3 983 | 416 | -3 568 | -1 223 | 9 | -1 215 | -2 760 | 407 | -2 353 |
| 2014 | -4 010 | 416 | -3 594 | -1 429 | 9 | -1 420 | -2 581 | 407 | -2 174 |
| 2015 | -3 815 | 417 | -3 399 | -1 333 | 9 | -1 324 | -2 483 | 408 | -2 075 |
| 2016 | -4 954 | 400 | -4 553 | -1 523 | 9 | -1 514 | -3 431 | 391 | -3 039 |
| 2017 | -3 401 | 400 | -3 000 | -1 056 | 9 | -1 047 | -2 345 | 392 | -1 953 |
| 2018 | -8 460 | 401 | -8 059 | -2 509 | 9 | -2 500 | -5 951 | 392 | -5 559 |
| 2019 | -6 036 | 401 | -5 635 | -762 | 9 | -753 | -5 274 | 392 | -4 882 |
| 2020 | -5 644 | 401 | -5 243 | -627 | 9 | -618 | -5 017 | 392 | -4 625 |
| 2021 | -5 161 | 402 | -4 760 | -569 | 9 | -560 | -4 593 | 393 | -4 200 |
| 2022 | -4 838 | 402 | -4 437 | -580 | 9 | -571 | -4 259 | 393 | -3 866 |
| 2023 | -4 639 | 402 | -4 237 | -489 | 9 | -480 | -4 150 | 393 | -3 757 |

## 6.6.2 Méthode d'estimation des émissions

***Emissions de $CO_2$***

*Emissions de $CO_2$ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone*

Les variations de stock des différents compartiments carbone associées aux prairies changeant de sous-catégorie ou aux terres converties en prairies entrainent des flux de $CO_2$. Des flux de carbone complémentaires liés aux récoltes de bois et à la repousse associée sont aussi pris en compte. La conversion du flux de C en $CO_2$ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

*Emissions de $CO_2$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Les émissions directes et indirectes de $CO_2$ liées aux surfaces des sols organiques (histosols) drainés sur sols cultivés sont estimées en appliquant les facteurs d'émission du Supplément 2013 du GIEC sur les Zones Humides ([923] chap.1 table 2.1) : 7,9 tCO2/ha/an en Métropole et 14t CO2/ha/an pour la Guyane ; ainsi que et 0,1 tCO2/ha/an dans les deux zones pour les émissions indirectes.

*Emissions de $CO_2$ liées au brûlage*

Les émissions de $CO_2$ liées au brûlage sont incluses dans les estimations liées à la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Aucune émission supplémentaire n'est calculée.

***Emissions de $CH_4$***

*Emissions de $CH_4$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Les émissions de $CH_4$ liées aux surfaces des sols organiques (histosols) drainés sur sols cultivés sont estimées en appliquant les facteurs d'émission proviennent du Supplément 2013 du GIEC sur les Zones Humides ([923] chap.1 table 2.3) : 0 tCO2/ha/an en Métropole et en Guyane.

*Emissions de $CH_4$ liées au brûlage*

Du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de $CH_4$ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 $tCH_4/tC$ [199, table 3A.1.15].

De plus, conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de $CH_4$ issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est également prise en compte (en prairies arbustives). Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

***Emissions de $N_2O$***

*Emissions de $N_2O$ liées à la fertilisation (directes et indirectes)*

Les émissions de $N_2O$ liées à la fertilisation des terres agricoles sont intégralement rapportées dans le secteur agriculture.

*Emissions de $N_2O$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Les émissions liées au drainage ou à la remise en eau sont actuellement négligées dans l'inventaire français.

*Emissions de $N_2O$ liées à la minéralisation des sols*

Des émissions de $N_2O$ liées à la minéralisation des sols, lors d'une perte de carbone, sont estimées.

*Emissions de $N_2O$ liées au brûlage*

Du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de $N_2O$ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 $tN_2O/tN$, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

De plus, conformément aux recommandations du GIEC [672], la génération de N2O issu de la combustion sur site de biomasse au cours de la récolte de bois est également prise en compte. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant :

https://www.citepa.org/fr/ominea

De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

#### 1.1.1.20 Approche et données

*Approche générale*

Les flux de carbone sur l'ensemble des terres sont estimés en deux temps :

3. Dans un premier temps, la routine du *modèle de variation de stock par maille* estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock :
    - pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) ;
    - pour le compartiment des sols minéraux, en fonction des changements de pratique (en plus des changements d'usage).
4. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés à la biomasse ligneuse type forêt (récolte de bois hors forêt…) ; sols organiques drainés ; etc.

*Données*

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*. Le tableau suivant rappelle les stocks et flux de référence pour les sous-catégories de prairies. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

**Tableau 291 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tC/ha* | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Prairies permanentes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,3 | 0 | 0 | 78,6 [48,3 ; 97] |
| Végétation naturelle indéfinie | 46 [14 ; 79] | 13 [4 ; 23] | 0 | 0 | 0 | 1,0 | 4 [0 ; 9] | 9 | 77,2 [47,6 ; 94,8] |
| Bosquet | 46 [14 ; 79] | 13 [4 ; 23] | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 4 [0 ; 9] | 9 | 77,2 [47,6 ; 94,8] |
| Landes, clairières, broussailles | 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | 1,0 | 0 | 0 | 77,2 [47,6 ; 94,8] |
| Maquis, garrigues | 8 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 77 [48 ; 95] |
| Alpages, pelouses naturelles | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 77 [48 ; 95] |

*moyenne [min, max]*

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en prairies (ou entre sous-catégories de prairies). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue prairies dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

**Tableau 292 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tC/ha/an* | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Prairies permanentes | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,22 |
| Végétation naturelle indéfinie | 1,1 [0,4 ; 2] | 0,3 [0,1 ; 0,6] | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0,1 [0 ; 0,23] | 0,45 | 1,22 |
| Bosquet | 1,1 [0,4 ; 2] | 0,3 [0,1 ; 0,6] | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0,1 [0 ; 0,23] | 0,45 | 1,22 |
| Landes, clairières, broussailles | 0,2 | 0,3 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,22 |
| Maquis, garrigues | 0,4 | 0,5 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,22 |
| Alpages, pelouses naturelles | 0,0 | 0,0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,22 |

*moyenne [min, max]*

**Tableau 293 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de prairies, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tC/ha/an* | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Prairies permanentes | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -1,22 |
| Végétation naturelle indéfinie | 0 | 0 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | 0 | 0 | -1,22 |
| Bosquet | 0 | 0 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | 0 | 0 | -1,22 |
| Landes, clairières, broussailles | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -1,22 |
| Maquis, garrigues | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -1,22 |
| Alpages, pelouses naturelles | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -1,22 |

#### 1.1.1.21 Prairies restant prairies (4C1)

La catégorie « Prairies restant prairies » inclut des terres changeant de sous-catégories, par exemple des conversions entre prairies permanentes et végétation hors forêt ; et des terres restant dans la même sous-catégorie.

***Biomasse vivante (prairies restant prairies) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]***

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les prairies restant prairies , qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de biomasse en différenciant différents types de biomasse : biomasse ligneuse type forêt [lb_f], biomasse ligneuse type culture pérenne [lb_cp], biomasse herbacée type culture annuelle [lb_ca] et biomasse herbacée type herbe [lb_hh]. En effet, les stocks de référence de carbone dans la biomasse peuvent être différent selon les cas. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF – général*).

*Flux estimés en complément*

***Bois mort (prairies restant prairies) [dw]***

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les prairies restant prairies, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de bois mort. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF – général*). En effet, les stocks de référence de carbone dans le bois mort peuvent être différent selon les cas. Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

*Flux estimés en complément*

***Litière (prairies restant prairies) [lt]***

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les prairies restant prairies, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de litière. En effet, les stocks de référence de carbone dans le bois mort peuvent être différent selon les cas. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF – général*). Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

*Flux estimés en complément*

***Matière organique du sol (prairies restant prairies) – sols minéraux [s_min]***

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les prairies restant prairies, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les variations de stocks de carbone dans les sols minéraux. En effet, les stocks de référence de carbone dans les sols minéraux peuvent être différent selon les sous-catégories et selon l'année.

Pour la sous-catégorie « Prairies permanentes » (sur le même principe que pour la catégorie Terres cultivées), les stocks de référence dans les sols minéraux varient selon l'année car ils sont issus d'une modulation d'un stock de référence ($COS_{REF}$) par l'occupation du sol et les pratiques culturales. Les variations de stock liées aux changements de pratiques agricoles (niveau de dégradation de la prairie, niveau d'apports) sont estimées conformément aux lignes directrices 2006 et au raffinement 2019 Giec [672, 1229]. Les facteurs issus du raffinement 2019 [1229] sont appliqués sur la base des données issues des enquêtes Pratiques culturales disponibles pour les années 1994, 2001, 2006, 2011 et 2017 [485]. Les données de pratiques permettent d'affiner le stock cible du modèle de variation de stock par maille chaque année pour la catégorie prairies permanentes. Elles ne sont pas disponibles par région pour l'ensemble de la série temporelle, les tendances nationales sont donc utilisées. Une série temporelle du stock de référence pour le compartiment sols minéraux [s_min] est estimée pour chaque sous-catégorie d'usage.

Comme pour les terres cultivées, le stock de référence pour la calibration du modèle se base sur l'équation ci-dessous. La méthode détaillée sur l'estimation des stocks de carbone dans les sols se trouve en section UTCATF générale.

**Équation 31 (UTCATF)**
**inspirée de l'équation 2.25 du Giec 2006 [672]**

$$COS_n = COS_{REF} * F_{UT} * \sum_i^n \%_{RG_{i,n}} * F_{RG_i} * \sum_i^n \%_{A_i,n} * F_{A_i}$$

Avec :

*Choix du paramètre de stock de référence ($COS_{REF}$)*

*Catégorisation selon le facteur d'utilisation des terres ($F_{UT}$)*

*Catégorisation selon le facteur lié à la gestion et aux apports ($F_{RG}$ x $F_A$)*

**Tableau 294 : Protocole d'allocation entre les catégories Giec**

| Fertilisation minérale ? | Fumure organique ? | Prairie | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Sévèrement dégradée | Surpâturée | Non dégradée | Améliorée apports moyens | Améliorée apports élevés |
| <50 kgN/ha/an | OUI | | | | X | |
| | NON | | X | | | |
| Entre 50 et 100 kgN/ha/an | NON | | | X | | |
| Supérieure à 100 kgN/ha/an | NON | | | | X | |

**Tableau 295 : Part du régime de gestion et d'apport issu des pratiques culturales pour les prairies [485] (métropole)**

| | Prairie | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Sévèrement dégradée | Surpâturée | Non dégradée | Améliorée apports moyens | Améliorée apports élevés |
| 1990 | 0% | 27% | 40% | 33% | 0% |
| 1998 | 0% | 20% | 50% | 30% | 0% |
| 2006 | 0% | 22% | 50% | 29% | 0% |
| 2011 | 0% | 29% | 40% | 31% | 0% |
| 2017 | 0% | 34% | 31% | 35% | 0% |

La série temporelle obtenue pour l'évolution du stock de référence en prairies permanentes est la suivante :

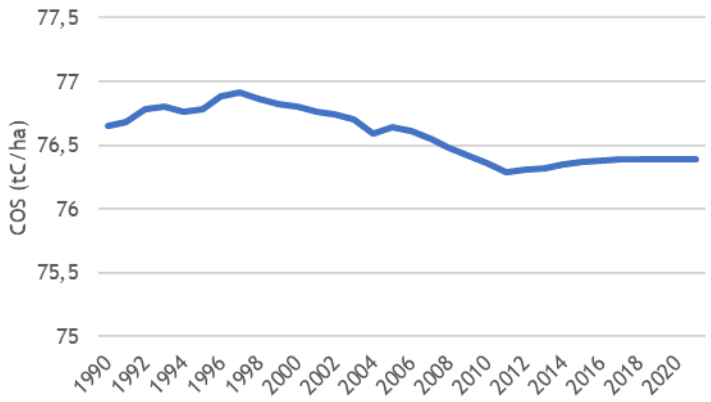



**Figure 210 : Evolution du stock de référence lié aux pratiques culturales pour les prairies (métropole)**

En Outre-mer, faute de données sur les changements de pratiques, aucune variation de stock de carbone des sols minéraux en prairies restant prairies n'est estimée.

*Flux estimés en complément*

Des émissions de $N_2O$ (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées sont calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Prairies restant prairies. L'estimation des émissions *directes* de $N_2O$ liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0,01 tN-$N_2O$/tN. L'estimation des émissions *indirectes* de $N_2O$ liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-$N_2O$/tN (table 11.3).

***Matière organique du sol (prairies restant prairies) – sols organiques [s_org]***

Les sols organiques cultivés génèrent des émissions de $CO_2$, de $CH_4$ et de $N_2O$ liées à leur drainage. Les surfaces de sols organiques sont obtenues de manière spatialement explicite en utilisant plusieurs jeux de données cartographiques pertinents, que ce soit pour la métropole (Base de données des inventaires des tourbières en France métropolitaine [1202]) ou pour la Guyane [720]. Ces cartes sont croisées avec le modèle de suivi des terres spatialement explicite Citepa pour la métropole ou avec des cartes d'occupation du sol (*Corine Land Cover*) pour la Guyane afin de caractériser les surfaces par usage des terres. Les surfaces des sols organiques classées en prairies permanentes sont considérées comme drainées et par conséquent source d'émission, les facteurs d'émissions appliqués proviennent du Supplément du GIEC sur les Zones Humides [923] (voir plus bas).

#### 1.1.1.22 Terres devenant prairies (4C2)

***Biomasse vivante (terres devenant prairies) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]***

La série temporelle des flux de $CO_2$ liées aux conversions de terres par sous-catégorie de prairies est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Des émissions complémentaires de $CH_4$, de $N_2O$ et de polluants associées au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, qu'elle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de $CH_4$, de $N_2O$ et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] – voir ci-après.

***Bois mort (terres devenant prairies) [dw]***

Les variations de stocks du compartiment bois mort pour les terres devenant prairies sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Pour la majorité des sous-catégories, le stock est nul, et les flux de pertes sont calibrés pour déstocker en 1 an le stock préexistant. Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la section.

***Litière (terres devenant prairies) [lt]***

Les variations de stocks du compartiment litière pour les terres devenant prairies sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Pour la majorité des sous-catégories, le stock est nul, et les flux de pertes sont calibrés pour déstocker en 1 an le stock préexistant. Les stocks et flux de référence ont été rappelés au début de la section.

***Matière organique du sol (terres devenant prairies) - [s_min]***

Les variations de stocks du compartiment sols minéraux pour les terres devenant prairies sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Il peut s'agir, selon les cas, d'une émission ou d'une absorption de carbone. La méthode de calcul des flux sur les sols lors des changements d'utilisation des terres est décrite plus en détail dans la partie générique.

## 6.6.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.sL'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). L'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 3ème niveau de la catégorie CRT (i.e. 4.C1 et 4.C2).sDepuis l'édition d'inventaire 2016, l'incertitude des émissions de $CO_2$ du secteur des prairies est estimée à partir d'une méthode de type Monte-Carlo permettant d'intégrer un maximum les interdépendances entre les sous-catégories. Sur le secteur dans son ensemble l'incertitude estimée sur ces émissions atteint la valeur de 51%, car les flux sont fortement incertains et les flux observés dépendent surtout des changements de cultures vers prairies et de forêt vers prairies pour lesquels le faible différentiel de stock de carbone dans les sols entraîne une incertitude forte su le résultat. Les incertitudes sur les émissions de $CH_4$ et de $N_2O$ sont de 100% pour chaque polluant. Ceci est basé sur l'avis des experts sectoriels. La méthodologie employée est la même tout au long de la période afin de garantir la cohérence temporelle. Les changements méthodologiques, lorsqu'ils adviennent, sont reportés sur l'ensemble de la période pour conserver cette cohérence.

## 6.6.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les valeurs utilisées dans cette catégorie de l'inventaire sont pour la plupart issues de travaux nationaux. Les données source font l'objet, en amont, de validation statistique.

Une comparaison entre ces données nationales et des valeurs par défaut serait envisageable. Le modèle de variation de stock à la maille prend désormais en compte des stocks de biomasse non ligneuse, issues de données nationales. Elles pourraient être comparées aux valeurs par défaut transmises par le Giec (Giec, 2006, vol 4. Chap 5, Table 5.9, chap 6 Table 6.4).

## 6.6.5 Recalculs

**Impacts des recalculs du CRT 4C**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | -4 751 | -3 992 | -2 390 | -4 178 | -960 | -844 | -883 | -1 368 | -1 371 | -1 329 | -2 554 | -773 | -6 030 | -1 314 | -1 030 | -440 | -430 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | -5 705 | -6 976 | -3 153 | -2 636 | -1 322 | -1 902 | -2 330 | -3 568 | -3 594 | -3 399 | -4 553 | -3 000 | -8 059 | -5 635 | -5 243 | -4 760 | -4 437 | -4 237 |
| Différence | kt CO2e | -954 | -2 984 | -763 | +1 542 | -362 | -1 058 | -1 447 | -2 199 | -2 222 | -2 070 | -1 999 | -2 227 | -2 029 | -4 321 | -4 213 | -4 320 | -4 007 | -4 237 |
| | % | +20% | +75% | +32% | -37% | +38% | +125% | +164% | +161% | +162% | +156% | +78% | +288% | +34% | +329% | +408,83% | +983% | +933% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /4.C

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

- Des modifications ont été apportés au modèle de suivi des terres spatialement explicite dans le cadre de l'amélioration continue de la méthode. Cela impacte l'ensemble de la série temporelle sur les surfaces et les changements d'utilisation des terres. Les données d'activités sont modifiées et génèrent des recalculs pour toutes les années :
    - Les dynamiques de déboisement ont notamment été mises à jour en début et fin de série temporelle, avec un travail sur la répartition des défrichements vers cultures ou prairies. La perte de biomasse forestière associée (et autres compartiments dans une moindre mesure) crée de forts recalculs en prairies.
    - Le modèle de rotations intra agricole a été mis à jour également, impactant aussi cette catégorie.
- Les surfaces de sols organiques drainés ont été mises à jour sur la base d'un nouveau produit cartographique, et reliées au modèle de suivi des terres pour éviter les doubles comptes avec les calculs relatifs aux sols minéraux.

**Raisons et justifications**

- La modification du mode de suivi des terres permet de répondre aux nouvelles exigences du règlement LULUCF 2018/841 ainsi que Gouvernance 2018/1899. Elle permet d'améliorer la transparence des surfaces de changements d'usage des terres et sert de squelette au nouveau mode d'estimation de variation de stock de carbone à la maille par compartiment.
- L'amélioration liée aux sols organiques permet d'être mieux relié au modèle de suivi des terres à la maille, et évite ainsi les double-compte.

### 6.6.6 Améliorations envisagées

Le chantier le plus important pour les prairies concerne les **sols**. L'adoption d'un modèle de variation de stock à la maille sur la base des données de pratiques culturales et des cultures issues des déclarations PAC (produit cartographique RPG) constitue une amélioration significative des estimations du carbone des sols des prairies permanentes. Les stocks de référence sont des stocks nationaux (RMQS), et ils pourront être comparés avec les données Giec par défaut dans de futures analyses. Les facteurs d'ajustement utilisés sont toujours des facteurs Giec, issus du Raffinement 2019 désormais, mais leur application est fine (chaque maille de 0,25 ha a une zone climatique et des pratiques culturales spécifiques). Pour les prairies, cette méthode montre toujours des limites car le suivi des pratiques sur prairies (base de la méthode Giec) est délicate. Des améliorations sont prévues pour intégrer de nouvelles sources d'informations pour qualifier les pratiques de gestion (taux de chargement, fauche vs pâtures, etc.).

Plusieurs méthodes ont été imaginées pour aller plus loin, tel le suivi des prairies par tours à flux. Pour l'instant aucune méthode n'a été jugée transposable dans l'inventaire national. Cependant, comme pour les terres cultivées, la piste la plus sure de progrès reste la prochaine campagne de mesure du réseau de la qualité des sols (RMQS). Cette campagne devrait fournir des éléments précis d'évolution du carbone des sols agricoles sur la dernière décennie. Ce sont sans doute ces résultats qui permettront de réaliser une véritable amélioration méthodologique de l'inventaire. Ces résultats sont espérés pour dans quelques années.

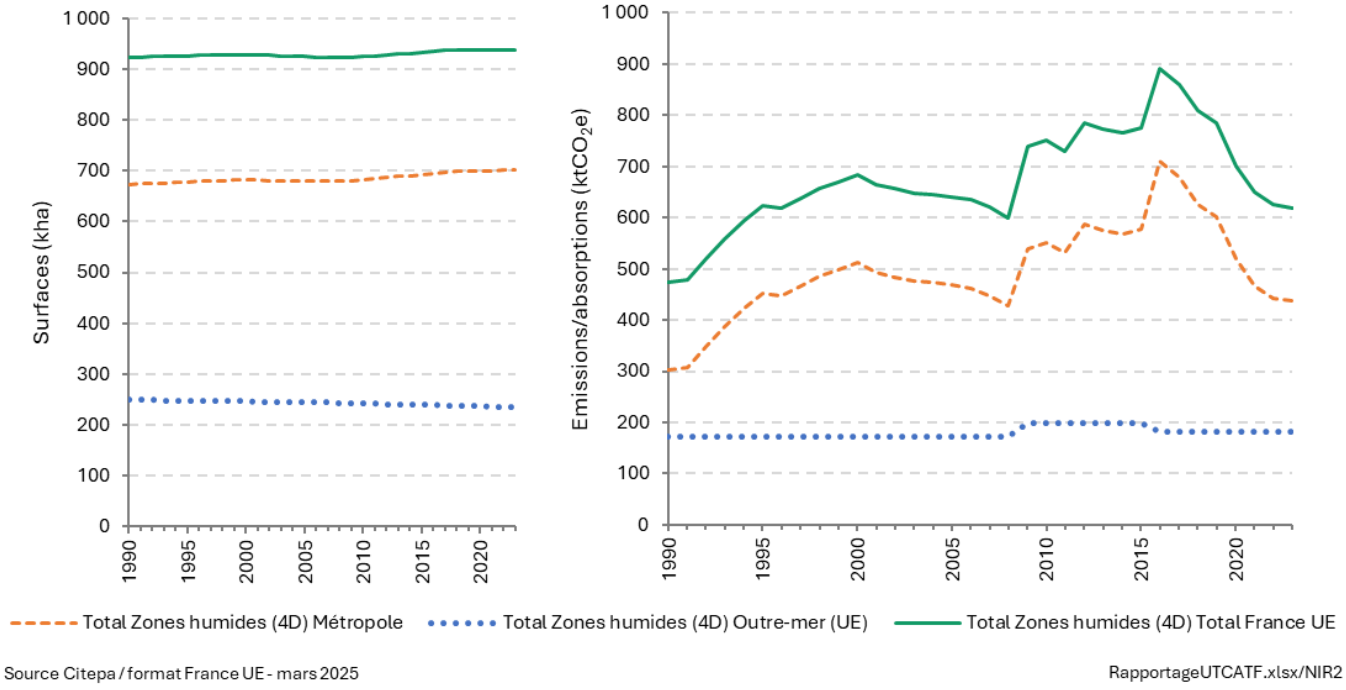
Les projets évoqués pour l'amélioration de la partie culture (CSOPRA, 4 pour 1000) sont aussi valables pour les prairies (voir section 6.5.6)

# 6.7 Zones humides (CRT 4D)

## 6.7.1 Caractéristiques de la catégorie

Les terres humides couvrent seulement 0,9 millions d'hectares en 2022 en France selon la nouvelle estimation du suivi des terres spatialement explicite. L'essentiel des émissions provient de terres forestières converties en zones humides et impliquant donc une perte de biomasse. Pour rappel, cette catégorie ne contient pas seulement des zones humides naturelles mais également des zones inondées artificiellement (voir 6.2 Définition des types de terres). L'augmentation des surfaces de cette deuxième catégorie explique l'augmentation des émissions sur les années récentes.

**Figure 211 : Surfaces et Emissions / Absorptions en zones humides**




Source Citepa / format France UE - mars 2025

RapportageUTCATF.xlsx/NIR2

**Tableau 296 : Surfaces en zones humides (en milliers d'ha)**

| | Surfaces (kha) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Zones humides (4D) | | | Zones humides restant Zones humides (4D1) | | | Terres devenant Zones humides (4D2) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | 673 | 250 | 922 | 645 | 248 | 893 | 27 | 2 | 29 |
| 1991 | 674 | 249 | 923 | 646 | 247 | 894 | 27 | 2 | 30 |
| 1992 | 675 | 249 | 924 | 647 | 247 | 894 | 27 | 2 | 30 |
| 1993 | 676 | 249 | 925 | 649 | 246 | 895 | 27 | 3 | 30 |
| 1994 | 677 | 248 | 925 | 650 | 246 | 895 | 27 | 3 | 30 |
| 1995 | 678 | 248 | 926 | 650 | 245 | 896 | 27 | 3 | 30 |
| 1996 | 679 | 248 | 927 | 651 | 245 | 896 | 27 | 3 | 31 |
| 1997 | 680 | 247 | 927 | 652 | 244 | 896 | 28 | 3 | 31 |
| 1998 | 680 | 247 | 928 | 653 | 243 | 896 | 28 | 4 | 31 |
| 1999 | 681 | 247 | 928 | 654 | 243 | 896 | 28 | 4 | 32 |
| 2000 | 682 | 246 | 928 | 654 | 242 | 896 | 28 | 4 | 32 |
| 2001 | 681 | 246 | 927 | 654 | 242 | 896 | 27 | 4 | 31 |
| 2002 | 681 | 246 | 927 | 655 | 241 | 896 | 26 | 5 | 31 |
| 2003 | 680 | 245 | 926 | 655 | 241 | 896 | 25 | 5 | 30 |
| 2004 | 680 | 245 | 925 | 655 | 240 | 895 | 25 | 5 | 30 |
| 2005 | 679 | 245 | 924 | 655 | 239 | 895 | 24 | 5 | 29 |
| 2006 | 679 | 244 | 923 | 656 | 239 | 895 | 23 | 5 | 29 |
| 2007 | 679 | 244 | 923 | 656 | 238 | 894 | 23 | 6 | 29 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2008 | 679 | 244 | 922 | 656 | 238 | 894 | 23 | 6 | 28 |
| 2009 | 680 | 243 | 924 | 656 | 237 | 894 | 24 | 6 | 30 |
| 2010 | 682 | 243 | 925 | 657 | 237 | 894 | 26 | 6 | 32 |
| 2011 | 684 | 242 | 926 | 658 | 236 | 894 | 26 | 6 | 32 |
| 2012 | 687 | 241 | 928 | 658 | 235 | 894 | 28 | 6 | 34 |
| 2013 | 689 | 241 | 929 | 659 | 235 | 894 | 29 | 6 | 35 |
| 2014 | 690 | 240 | 930 | 660 | 234 | 894 | 30 | 6 | 36 |
| 2015 | 692 | 240 | 931 | 661 | 234 | 895 | 31 | 6 | 37 |
| 2016 | 695 | 239 | 934 | 662 | 233 | 895 | 33 | 6 | 39 |
| 2017 | 698 | 239 | 936 | 663 | 233 | 895 | 35 | 6 | 41 |
| 2018 | 699 | 238 | 937 | 664 | 232 | 896 | 35 | 6 | 41 |
| 2019 | 700 | 237 | 937 | 665 | 231 | 896 | 34 | 6 | 41 |
| 2020 | 700 | 237 | 937 | 666 | 231 | 897 | 33 | 6 | 40 |
| 2021 | 700 | 236 | 937 | 667 | 230 | 897 | 33 | 6 | 39 |
| 2022 | 701 | 236 | 936 | 668 | 230 | 897 | 33 | 6 | 39 |
| 2023 | 701 | 235 | 936 | 668 | 229 | 897 | 33 | 6 | 39 |

**Tableau 297 : Emissions / Absorptions en zones humides (en ktCO₂e)**

| | Emissions / Absorptions (ktCO₂e) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Zones humides (4D) | | | Zones humides restant Zones humides (4D1) | | | Terres devenant Zones humides (4D2) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | 302 | 172 | 474 | 265 | 0 | 265 | 37 | 172 | 209 |
| 1991 | 308 | 172 | 480 | 275 | 0 | 275 | 33 | 172 | 205 |
| 1992 | 349 | 172 | 521 | 285 | 0 | 285 | 64 | 172 | 236 |
| 1993 | 386 | 172 | 558 | 295 | 0 | 295 | 92 | 172 | 264 |
| 1994 | 422 | 172 | 594 | 305 | 0 | 305 | 118 | 172 | 290 |
| 1995 | 451 | 172 | 623 | 314 | 0 | 314 | 137 | 172 | 309 |
| 1996 | 447 | 172 | 619 | 289 | 0 | 289 | 157 | 172 | 329 |
| 1997 | 466 | 172 | 638 | 287 | 0 | 287 | 179 | 172 | 350 |
| 1998 | 486 | 172 | 658 | 284 | 0 | 284 | 201 | 172 | 373 |
| 1999 | 497 | 172 | 669 | 277 | 0 | 277 | 219 | 172 | 391 |
| 2000 | 511 | 172 | 683 | 274 | 0 | 274 | 238 | 172 | 409 |
| 2001 | 492 | 172 | 664 | 270 | 0 | 270 | 223 | 172 | 394 |
| 2002 | 485 | 172 | 657 | 266 | 0 | 266 | 219 | 172 | 391 |
| 2003 | 476 | 172 | 648 | 262 | 0 | 262 | 214 | 172 | 386 |
| 2004 | 473 | 172 | 645 | 258 | 0 | 258 | 215 | 172 | 387 |
| 2005 | 468 | 172 | 640 | 256 | 0 | 256 | 212 | 172 | 384 |
| 2006 | 462 | 172 | 634 | 252 | 0 | 252 | 211 | 172 | 383 |
| 2007 | 448 | 172 | 620 | 235 | 0 | 235 | 213 | 172 | 385 |
| 2008 | 427 | 172 | 599 | 215 | 0 | 215 | 213 | 172 | 384 |
| 2009 | 540 | 199 | 738 | 201 | 0 | 201 | 338 | 199 | 537 |
| 2010 | 552 | 199 | 751 | 188 | 0 | 188 | 364 | 199 | 563 |
| 2011 | 532 | 199 | 730 | 166 | 0 | 166 | 366 | 199 | 564 |
| 2012 | 586 | 199 | 785 | 150 | 0 | 150 | 437 | 199 | 635 |
| 2013 | 575 | 199 | 773 | 136 | 0 | 136 | 439 | 199 | 638 |
| 2014 | 568 | 199 | 766 | 123 | 0 | 123 | 445 | 199 | 643 |
| 2015 | 578 | 199 | 776 | 112 | 0 | 112 | 466 | 199 | 664 |
| 2016 | 710 | 183 | 892 | 103 | 0 | 103 | 607 | 183 | 789 |
| 2017 | 678 | 183 | 860 | 94 | 0 | 94 | 584 | 183 | 766 |
| 2018 | 626 | 183 | 809 | 92 | 0 | 92 | 535 | 183 | 717 |
| 2019 | 602 | 183 | 785 | 85 | 0 | 85 | 517 | 183 | 700 |
| 2020 | 519 | 183 | 701 | 78 | 0 | 78 | 441 | 183 | 624 |
| 2021 | 467 | 183 | 650 | 68 | 0 | 68 | 399 | 183 | 582 |
| 2022 | 443 | 183 | 626 | 61 | 0 | 61 | 382 | 183 | 565 |
| 2023 | 437 | 183 | 620 | 56 | 0 | 56 | 381 | 183 | 564 |

## 6.7.2 Méthode d'estimation des émissions

***Emissions de $CO_2$***

*Emissions de $CO_2$ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone*

Les variations de stock de carbone associées aux terres converties en Zones Humides ou aux Zones Artificialisées changeant de sous-catégorie entrainent des flux de $CO_2$. La conversion du flux de C en $CO_2$ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

*Emissions de $CO_2$ liées au brûlage*

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Les émissions de $CO_2$ sont déjà comptabilisées au niveau de la perte de carbone lors du calcul de la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Seules des émissions complémentaires d'autres gaz et substances sont estimées.

*Emissions de CO2 liées à l'extraction de tourbe (wetlands under Peat extraction)*

Seules les émissions « Off-Site » sont prises en compte dans la catégorie « Peat extraction ». Ces émissions correspondent à la dégradation du carbone contenu dans la tourbe, considéré comme entièrement perdu l'année de l'extraction. La densité de la tourbe sèche est estimée à 0,4 t/$m^3$ [1312], et la fraction de carbone dans la tourbe est de 0,4 t C par tonne de tourbe sèche à l'air (air-dry Rich peat) [672]. Les émissions de CO2 sont ensuite calculées en convertissant les quantités de carbone en CO2 via le facteur de conversion 44/12.

***Emissions de $CH_4$***

*Emissions de $CH_4$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Zones Humides. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

*Emissions de $CH_4$ liées au brûlage*

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de $CH_4$ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 $tCH_4$/tC [199, table 3A.1.15].

***Emissions de $N_2O$***

*Emissions de $N_2O$ liées à la fertilisation (directes et indirectes)*

Aucune fertilisation n'est estimée sur les Zones artificialisées.

*Emissions de $N_2O$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Zones Humides. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

*Emissions de $N_2O$ liées à la minéralisation des sols*

Les émissions de $N_2O$ liées à la minéralisation des sols sont estimées en cohérence avec l'estimation des pertes de carbone.

*Emissions de $N_2O$ liées au brûlage*

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de $N_2O$ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 $tN_2O$/tN, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant :

https://www.citepa.org/fr/ominea

De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

#### 1.1.1.23 Approche et données

*Approche générale*

Les flux de carbone sur l'ensemble des catégories de terres sont estimés en deux temps :

1. Dans un premier temps, la routine du *modèle de variation de stock par maille* estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) ;

2. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : sols organiques drainés ; émissions de $N_2O$ liés à la perte de carbone, etc.

*Données*

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*. Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories de terres humides. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

**Tableau 298 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tC/ha* | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Zones humides indéfinies, en eau naturelle, zones inondées | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tourbières et autres zones humides | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,3 | 0 | 0 | 125 |
| Marais salants | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0 | 0 | 0 |

*moyenne [max, min]*

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en terres humides (ou entre sous-catégories de terres humides). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue terres humides dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

**Tableau 299 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tC/ha/an* | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Zones humides indéfinies, en eau naturelle, zones inondées | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 0 |
| Tourbières et autres zones humides | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 3,1 |
| Marais salants | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,22 |

**Tableau 300 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de terres humides, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tC/ha/an* | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Zones humides indéfinies, en eau naturelle, zones inondées | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -3,2 |
| Tourbières et autres zones humides | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | 0 |
| Marais salants | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | 0 | 0 | -1,22 |

#### 1.1.1.24 Terres humides restant terres humides (4D1)

La catégorie « Zones humides restant zones humides » inclut des terres changeant de sous-catégories, par exemple des conversions entre surfaces en eau et autre zones humides ; et des terres restant dans la même sous-catégorie.

***Biomasse vivante (zones humides restant zones humides) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]***

Les potentiels flux sont estimés par le modèle de variation de stock par mailles. Les flux et stocks de référence sont rappelés en début de section. Dans les zones humides restant zones humides, les stocks de référence pour la biomasse (ligneuse, herbacée) sont presque tous considérés à 0, faute de données suffisante à ce stade pour disposer d'une valeur fiable. Seule la biomasse herbacée a été renseignée avec des valeurs assimilées à des stocks de prairies.

***Bois mort et litière (zones humides restant zones humides) [dw ; lt]***

Les potentiels flux sont estimés par le modèle de variation de stock par mailles. Dans les zones humides restant zones humides, les stocks de référence pour le bois mort et la litière sont considérés à 0. Aucune variation de stock pour le bois mort et la litière n'est estimée dans les zones humides restant zones humides.

***Matière organique du sol (zones humides restant zones humides) – sols minéraux [s_min]***

Les potentiels flux sont estimés par le modèle de variation de stock par mailles. Dans les zones humides restant zones humides, les stocks de référence pour les sols sont considérés à 125 tC/ha par défaut, d'après les mesures du RMQS [424] pour les sous-catégories tourbières et autres zones humides. La sous-catégorie marais salant est assimilée à un stock de prairies permanentes. Son stock de référence dépend donc des années. Les zones en eau (mer, rivière) et les zones inondées artificiellement ont un stock nul. Des flux peuvent exister si on a des conversions entre sous-catégories, et pour les stocks assimilés à des sols de prairies qui varient annuellement à cause des pratiques de gestion.

***Matière organique du sol (zones humides restant zones humides) – sols organiques [s_org]***

Une estimation des pertes de carbone dans les sols organiques dues à l'extraction de la tourbe en France métropolitaine a été menée en combinant des données sur les surfaces exploitées et les quantités extraites, issues de publications scientifiques [1306], [1307], [1310],

[1312], ainsi que d'articles de médias et d'organismes spécialisés [1308], [1309], [1311]. À partir des années 2000, le nombre de sites de production encore en activité ayant diminué, les données d'activité ont été complétées par une enquête réalisée auprès des acteurs de la profession. Les pertes de carbones associées à ces activités sont estimées uniquement pour le carbone du sols et attribuées aux surfaces de sols organiques des terres en zones humides restant zones humides.

Les émissions GES sont calculées avec la méthode tier 1 qui implique l'estimation des émissions dites « On-site » et « Off-site » selon les équations 7.2 à 7.5 des Guidelines 2006 du Giec (Vol 4, chap 7, Managed Peatlands) [672]. Le calcul des émissions « Off-site » se base sur les quantités annuelles de tourbe extraites traduites en émission de CO2 uniquement. En France, la tourbe extraite est principalement destinée à des usages horticoles et correspond à de la tourbe noire herbacées de type carex, minérotrophe et riche en nutriments (dite Fen). La part de tourbe pauvre en nutriment (dite bog) est par conséquent considérées comme négligeable pour le calcul.

#### 1.1.1.25 Terres devenant terres humides (4D2)

La catégorie Terres devenant Zones humides peut comprendre à la fois les créations, anthropiques ou non, de terres inondées ou de la création ou re-création de zones humides. Les surfaces associées sont donc faibles. Pour certaines sous-catégories de zones humides, les stocks de carbone dans la biomasse herbacée et dans le sol sont élevés : les terres converties vers ces catégories peuvent donc générer une hausse progressive de leur stock de carbone sur ces compartiments, et donc, en fonction de la catégorie initiale, générer une séquestration de $CO_2$.

***Tous compartiments – flux de carbone***

Les flux de carbone liés aux terres devenant Zones Humides sont calculés via la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF-général*). Pour chaque compartiment carbone, ces flux dépendent du stock initial et du stock final dans la sous-catégorie concernée au sein de la catégorie Zones Humides.

***$N_2O$ de la minéralisation liée à la perte de C du sol***

Des émissions complémentaires de $N_2O$ (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées sont calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Terres devenant Zones Humides. L'estimation des émissions directes de $N_2O$ liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0.01 tN-$N_2O$/tN. L'estimation des émissions indirectes de $N_2O$ liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-$N_2O$/tN (table 11.3).

***Emissions liées au brûlage sur site de biomasse lors d'une déforestation***

Des émissions complémentaires de $CH_4$, de $N_2O$ et de polluants associées au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, qu'elle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de $CH_4$, de $N_2O$ et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] – voir ci-après.

## 6.7.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 7. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). L'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 3ème niveau de la catégorie CRT (i.e. 4.D1 et 4.D2).

Depuis l'édition d'inventaire 2016, l'incertitude des émissions de $CO_2$ du secteur des zones humides est estimée à partir d'une méthode de type Monte-Carlo permettant d'intégrer un maximum les interdépendances entre les sous-catégories. Sur le secteur dans son ensemble l'incertitude estimée sur ces émissions atteint la valeur de 72%, car les surfaces de changements relatives aux zones humides sont faibles et par conséquent incertaines.

Les incertitudes sur les émissions de $CH_4$ et de $N_2O$ sont de 100% pour chaque polluant. Ceci est basé sur l'avis des experts sectoriels.

La méthodologie employée est la même tout au long de la période afin de garantir la cohérence temporelle. Les changements méthodologiques, lorsqu'ils adviennent, sont reportés sur l'ensemble de la période pour conserver cette cohérence.

## 6.7.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

## 6.7.5 Recalculs

**Impacts des recalculs du CRT 4D**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 535 | 584 | 576 | 416 | 1 025 | 942 | 937 | 970 | 1 153 | 1 444 | 2 517 | 2 199 | 1 936 | 1 723 | 1 499 | 1 389 | 1 342 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 474 | 623 | 683 | 640 | 751 | 730 | 785 | 773 | 766 | 776 | 892 | 860 | 809 | 785 | 701 | 650 | 626 | 620 |
| Différence | kt CO2e | -60 | +39 | +107 | +224 | -274 | -212 | -152 | -196 | -387 | -668 | -1 625 | -1 339 | -1 127 | -938 | -798 | -739 | -717 | +620 |
| | % | -11% | +7% | +19% | +54% | -27% | -22% | -16% | -20% | -34% | -46% | -65% | -61% | -58% | -54% | -53,22% | -53% | -53% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /4.D

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

- De nouvelles modifications ont été faites concernant le suivi des terres spatialement explicite dans le cadre de l'amélioration continue de la méthode. Des traitements ont été appliqués pour améliorer le module basé sur la BD TOPAGE, car les artéfacts de fin de série (pic de 2016 notamment) étaient après analyse liés à des mises à jour de la base de données source ne pouvant s'apparenter à des changements d'usage des terres. Des filtres ont donc été appliqués pour les catégories créant de faux changements (Ecoulement naturel ; Plan d'eau – estuaire ; Plan d'eau – lagune ; PE – glaciers, névés).
- Les émissions liées à l'extraction de la tourbe ont été ajoutées sur l'ensemble de la série pour améliorer la complétude de l'inventaire.
- Les surfaces et émissions liées aux sols organiques ont été mis en cohérence.

**Raisons et justifications**

- La modification du mode de suivi des terres permet de répondre aux nouvelles exigences du règlement LULUCF 2018/841 ainsi que Gouvernance 2018/1899. Elle permet d'améliorer la transparence des surfaces de changements d'usage des terres et sert de squelette au nouveau mode d'estimation de variation de stock de carbone à la maille par compartiment.

## 6.7.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2022, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| Sector / CRF category / issue | Review recommendation | Review report/ paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| **LULUCF** 4.D. Wetlands – CO2 and N2O (L.22, 2021), (L.23, 2019) (L.26, 2017) (L.32, 2016) (L.32, 2015) Accuracy | Either report information to demonstrate that the methodology used to estimate carbon stock changes in land converted from and to wetlands produces more accurate and/or precise estimates than the IPCC methodology (2006 IPCC Guidelines, vol. 4, equation 2.26) or apply the IPCC methodology for estimating GHG emissions and removals from drained (wetlands converted to other land uses) and rewetted (other land uses converted to wetlands) organic soils. Not resolved. In the NIR (section 6.7, p.692) France did not report information to demonstrate that the methodology used to estimate carbon stock changes in land converted from and to wetlands produces more accurate estimates than the IPCC methodology. Additionally, France did not apply the IPCC methodology for estimating GHG emissions and removals from drained and rewetted organic soils. The Party reported in the NIR (section 6.7.2.2, p.696) that, owing to difficulties in characterizing wetland | 2022 Review ARR / L.13 | Partially implemented. A new cartographic product is used to detect flooded areas and areas of water (BD TOPAGE, from IGN). The surface area of wetlands (IPCC definition) has therefore been improved. Moreover, a new map is used to specify organic soils, and has been crossed with the land use products. It has helped to improve estimates of drained areas in cropland and wetlands. Further |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | soils, soil carbon fluxes on land converted to wetlands were neglected and not estimated. During the review, the Party explained that its current land-use monitoring approach does not allow for accurate tracking of changes in organic soils for wetlands, but that this might improve with the upcoming new spatially explicit system that the Party is planning to implement in the future. | | developments is required to make better use of this map in the reporting of organic soils within the wetlands category. |

## 6.7.7 Améliorations envisagées

Même si les zones humides ne représentent pas en France un enjeu aussi important que dans d'autres pays européens, l'amélioration du suivi des flux de carbone sur cette catégorie de terres demeure un objectif. En particulier, l'enjeu deviendra plus important dans le cadre de la 2e période de rapportage (2026-2030) dans le cadre du règlement UE 2018/841 sur l'utilisation des terres qui prévoit un rapportage obligatoire des zones humides gérées.

Un travail est ainsi en cours pour mieux quantifier les surfaces et les flux de carbone associés aux zones humides (tourbières, marécages, zones en eau) tout en étant en cohérence avec les émissions liées aux histosols cultivés.

Le calcul des émissions des zones humides pourrait être amélioré, d'une part en intégrant la caractérisation des sols organiques au sein du cadre spatialement explicite (caractérisation de chaque maille), et d'autre part en améliorant les calculs des flux de carbone associés au drainage, à la remise en eau, aux terres inondées et à l'exploitation des tourbières, dans toutes les catégories de terres pertinentes.

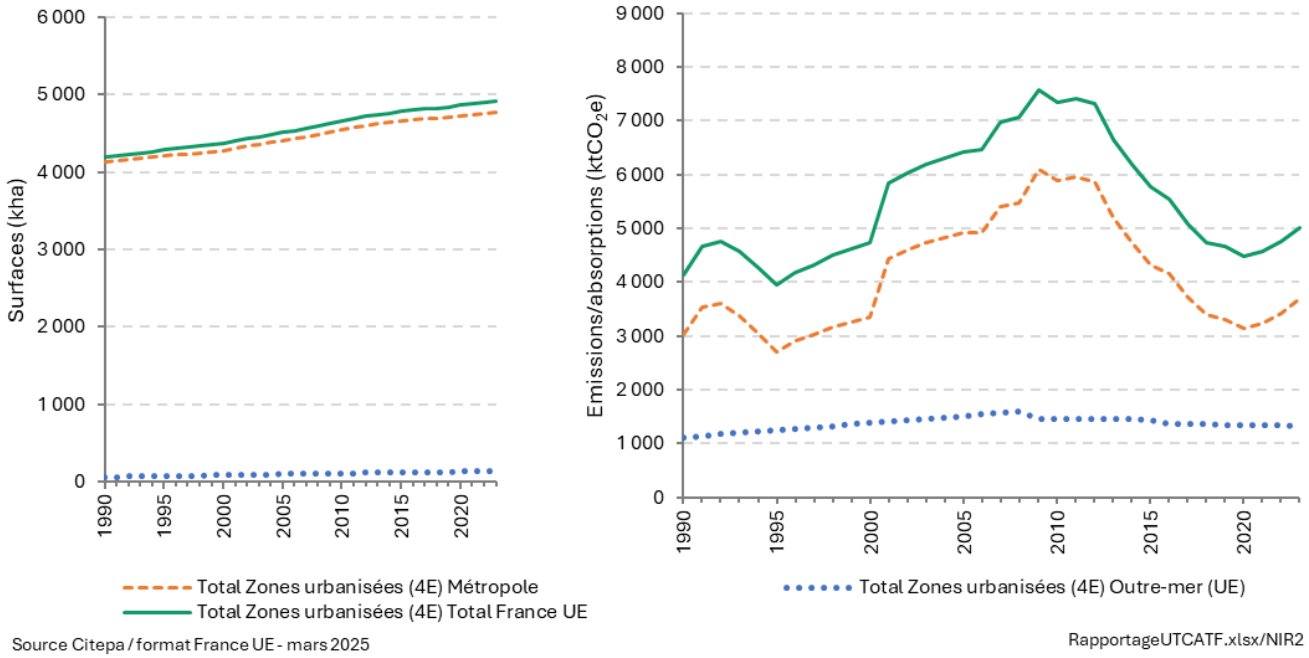
# 6.8 Zones artificialisées ou Etablissements (CRT 4E)

## 6.8.1 Caractéristiques de la catégorie

Les zones urbanisées couvrent 4,9 millions d'hectares en 2022 en France, contre 4,2 millions d'hectares en 1990, soit une hausse de 18%.

Les émissions de $CO_2$ sont en grande partie dues à l'artificialisation des terres agricoles en métropole et aux défrichements liés à l'orpaillage en Guyane. Les défrichements sont le premier poste en termes d'émissions en métropole, même si les surfaces concernées sont bien plus faibles que les surfaces de terres agricoles. Elles correspondent en grande majorité aux pertes de carbone estimées pour les réservoirs sol et biomasse vivante.

**Figure 212 : Surfaces et Emissions / Absorptions en zones urbanisées**




Source Citepa / format France UE - mars 2025

RapportageUTCATF.xlsx/NIR2

**Tableau 301 : Surfaces en zones urbanisées (en milliers d'ha)**

| | Surfaces (kha) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Zones urbanisées (4E) | | | Zones urbanisées restant Zones urbanisées (4E1) | | | Terres devenant Zones urbanisées (4E2) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | 4 130 | 65 | 4 196 | 3 717 | 34 | 3 751 | 413 | 31 | 444 |
| 1991 | 4 148 | 68 | 4 216 | 3 732 | 36 | 3 768 | 416 | 32 | 448 |
| 1992 | 4 163 | 70 | 4 233 | 3 748 | 37 | 3 784 | 415 | 34 | 449 |
| 1993 | 4 176 | 73 | 4 249 | 3 763 | 38 | 3 801 | 413 | 35 | 448 |
| 1994 | 4 190 | 76 | 4 266 | 3 779 | 39 | 3 818 | 412 | 36 | 448 |
| 1995 | 4 204 | 78 | 4 282 | 3 794 | 40 | 3 834 | 410 | 38 | 448 |
| 1996 | 4 218 | 81 | 4 299 | 3 809 | 41 | 3 851 | 409 | 39 | 448 |
| 1997 | 4 233 | 83 | 4 316 | 3 825 | 43 | 3 867 | 408 | 41 | 449 |
| 1998 | 4 248 | 86 | 4 334 | 3 840 | 44 | 3 884 | 408 | 42 | 450 |
| 1999 | 4 263 | 88 | 4 351 | 3 855 | 45 | 3 900 | 408 | 43 | 451 |
| 2000 | 4 278 | 91 | 4 369 | 3 870 | 46 | 3 917 | 408 | 45 | 453 |
| 2001 | 4 307 | 94 | 4 401 | 3 887 | 47 | 3 934 | 420 | 46 | 467 |
| 2002 | 4 332 | 96 | 4 428 | 3 903 | 48 | 3 951 | 429 | 48 | 477 |
| 2003 | 4 357 | 99 | 4 456 | 3 919 | 50 | 3 969 | 438 | 49 | 487 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2004 | 4 381 | 101 | 4 482 | 3 935 | 51 | 3 986 | 446 | 50 | 496 |
| 2005 | 4 404 | 104 | 4 508 | 3 951 | 52 | 4 003 | 453 | 52 | 505 |
| 2006 | 4 427 | 106 | 4 533 | 3 967 | 53 | 4 021 | 459 | 53 | 512 |
| 2007 | 4 455 | 109 | 4 563 | 3 983 | 54 | 4 037 | 472 | 54 | 526 |
| 2008 | 4 481 | 111 | 4 592 | 3 998 | 55 | 4 054 | 483 | 56 | 539 |
| 2009 | 4 511 | 113 | 4 625 | 4 014 | 58 | 4 071 | 498 | 56 | 553 |
| 2010 | 4 539 | 115 | 4 654 | 4 029 | 60 | 4 089 | 510 | 55 | 566 |
| 2011 | 4 570 | 117 | 4 688 | 4 047 | 62 | 4 109 | 524 | 55 | 579 |
| 2012 | 4 600 | 119 | 4 719 | 4 061 | 64 | 4 125 | 538 | 55 | 594 |
| 2013 | 4 620 | 121 | 4 741 | 4 075 | 66 | 4 141 | 545 | 55 | 600 |
| 2014 | 4 639 | 123 | 4 762 | 4 089 | 68 | 4 157 | 550 | 55 | 605 |
| 2015 | 4 655 | 125 | 4 781 | 4 103 | 70 | 4 173 | 553 | 55 | 608 |
| 2016 | 4 671 | 127 | 4 798 | 4 116 | 73 | 4 189 | 554 | 55 | 609 |
| 2017 | 4 683 | 129 | 4 812 | 4 130 | 75 | 4 205 | 553 | 54 | 607 |
| 2018 | 4 694 | 131 | 4 825 | 4 145 | 77 | 4 222 | 549 | 54 | 603 |
| 2019 | 4 709 | 133 | 4 842 | 4 162 | 79 | 4 241 | 547 | 54 | 601 |
| 2020 | 4 724 | 135 | 4 859 | 4 179 | 81 | 4 260 | 545 | 54 | 599 |
| 2021 | 4 739 | 137 | 4 875 | 4 208 | 83 | 4 291 | 531 | 53 | 584 |
| 2022 | 4 754 | 139 | 4 892 | 4 234 | 85 | 4 319 | 520 | 53 | 573 |
| 2023 | 4 768 | 140 | 4 909 | 4 259 | 88 | 4 347 | 509 | 53 | 562 |

**Tableau 302 : Emissions / Absorptions en zones urbanisées (en $ktCO_2e$)**

| | Emissions / Absorptions ($ktCO_2e$) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Zones urbanisées (4E) | | | Zones urbanisées restant Zones urbanisées (4E1) | | | Terres devenant Zones urbanisées (4E2) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | 3 022 | 1 117 | 4 139 | 22 | 0 | 22 | 3 000 | 1 117 | 4 117 |
| 1991 | 3 525 | 1 144 | 4 669 | 33 | 0 | 33 | 3 492 | 1 144 | 4 636 |
| 1992 | 3 593 | 1 170 | 4 763 | 46 | 0 | 46 | 3 547 | 1 170 | 4 717 |
| 1993 | 3 376 | 1 196 | 4 572 | 71 | 0 | 71 | 3 305 | 1 196 | 4 501 |
| 1994 | 3 062 | 1 223 | 4 284 | 76 | 0 | 76 | 2 985 | 1 223 | 4 208 |
| 1995 | 2 709 | 1 249 | 3 958 | 81 | 0 | 81 | 2 628 | 1 249 | 3 877 |
| 1996 | 2 905 | 1 276 | 4 180 | 84 | 0 | 84 | 2 820 | 1 276 | 4 096 |
| 1997 | 3 024 | 1 302 | 4 326 | 89 | 0 | 89 | 2 936 | 1 302 | 4 238 |
| 1998 | 3 175 | 1 329 | 4 504 | 93 | 0 | 93 | 3 082 | 1 329 | 4 411 |
| 1999 | 3 267 | 1 355 | 4 622 | 97 | 0 | 97 | 3 170 | 1 355 | 4 525 |
| 2000 | 3 361 | 1 381 | 4 743 | 101 | 0 | 101 | 3 260 | 1 381 | 4 642 |
| 2001 | 4 435 | 1 408 | 5 843 | 117 | 0 | 117 | 4 318 | 1 408 | 5 726 |
| 2002 | 4 586 | 1 434 | 6 020 | 122 | 0 | 122 | 4 464 | 1 434 | 5 898 |
| 2003 | 4 738 | 1 461 | 6 199 | 128 | 0 | 128 | 4 610 | 1 461 | 6 071 |
| 2004 | 4 827 | 1 487 | 6 315 | 235 | 0 | 235 | 4 593 | 1 487 | 6 080 |
| 2005 | 4 913 | 1 514 | 6 427 | 319 | 0 | 319 | 4 594 | 1 514 | 6 107 |
| 2006 | 4 917 | 1 540 | 6 457 | 387 | 0 | 387 | 4 530 | 1 540 | 6 070 |
| 2007 | 5 412 | 1 567 | 6 978 | 432 | 0 | 432 | 4 980 | 1 567 | 6 546 |
| 2008 | 5 478 | 1 593 | 7 071 | 477 | 0 | 477 | 5 002 | 1 593 | 6 595 |
| 2009 | 6 098 | 1 465 | 7 563 | 648 | 0 | 648 | 5 450 | 1 465 | 6 915 |
| 2010 | 5 887 | 1 462 | 7 349 | 647 | 0 | 647 | 5 240 | 1 462 | 6 702 |
| 2011 | 5 955 | 1 459 | 7 413 | 643 | 0 | 643 | 5 311 | 1 459 | 6 770 |
| 2012 | 5 857 | 1 455 | 7 312 | 638 | 0 | 638 | 5 219 | 1 455 | 6 675 |
| 2013 | 5 199 | 1 452 | 6 651 | 634 | 0 | 634 | 4 565 | 1 452 | 6 017 |
| 2014 | 4 733 | 1 449 | 6 182 | 624 | 0 | 624 | 4 109 | 1 449 | 5 558 |
| 2015 | 4 330 | 1 446 | 5 776 | 615 | 0 | 615 | 3 716 | 1 446 | 5 161 |
| 2016 | 4 167 | 1 366 | 5 534 | 606 | 0 | 606 | 3 561 | 1 366 | 4 927 |
| 2017 | 3 719 | 1 361 | 5 080 | 598 | 0 | 598 | 3 121 | 1 361 | 4 482 |
| 2018 | 3 390 | 1 356 | 4 746 | 590 | 0 | 590 | 2 800 | 1 356 | 4 156 |
| 2019 | 3 305 | 1 351 | 4 656 | 581 | 0 | 581 | 2 724 | 1 351 | 4 075 |
| 2020 | 3 136 | 1 345 | 4 481 | 568 | 0 | 568 | 2 568 | 1 345 | 3 914 |
| 2021 | 3 231 | 1 340 | 4 571 | 555 | 0 | 555 | 2 676 | 1 340 | 4 016 |
| 2022 | 3 419 | 1 335 | 4 754 | 543 | 0 | 543 | 2 876 | 1 335 | 4 211 |
| 2023 | 3 687 | 1 330 | 5 017 | 534 | 0 | 534 | 3 153 | 1 330 | 4 483 |

## 6.8.2 Méthode d'estimation des émissions

***Emissions de $CO_2$***

*Emissions de $CO_2$ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone*

Les variations de stock de carbone associées aux terres converties en Zones Artificialisées ou aux Zones Artificialisées changeant de sous-catégorie entrainent des flux de $CO_2$. La conversion du flux de C en $CO_2$ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

*Emissions de $CO_2$ liées au brûlage*

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Les émissions de $CO_2$ sont déjà comptabilisées au niveau de la perte de carbone lors du calcul de la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Seules des émissions complémentaires d'autres gaz et substances sont estimées.

***Emissions de $CH_4$***

*Emissions de $CH_4$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Zones Artificialisées. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

*Emissions de $CH_4$ liées au brûlage*

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de $CH_4$ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 $tCH_4/tC$ [199, table 3A.1.15].

***Emissions de $N_2O$***

*Emissions de $N_2O$ liées à la fertilisation (directes et indirectes)*

Aucune fertilisation n'est estimée sur les Zones artificialisées.

*Emissions de $N_2O$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Zones Artificialisées. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

*Emissions de $N_2O$ liées à la minéralisation des sols*

Les émissions de $N_2O$ liées à la minéralisation des sols sont estimées en cohérence avec l'estimation des pertes de carbone.

*Emissions de $N_2O$ liées au brûlage*

Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de $N_2O$ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 $tN_2O/tN$, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant :

https://www.citepa.org/fr/ominea

De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

#### 1.1.1.26 Approche et données

*Approche générale*

Les flux de carbone sur l'ensemble des catégories de terres sont estimés en deux temps :

1. Dans un premier temps, la routine du *modèle de variation de stock par maille* estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) ;
2. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : émissions de N2O liés à la perte de carbone, etc.

*Données*

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*.
Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories de terres humides. Ces valeurs étaient déjà présentées par compartiment dans la partie UTCATF général, s'y référer pour avoir les sources de l'ensemble des données.

**Tableau 303 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tC/ha/an* | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Artif. indéfini | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| Artif. bâti/revêtu indéfini | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| Artif. bâtis, nus ou revêtus | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Artif. en partie bâtis, nus ou revêtus | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,1 | 0 | 0 | 30 |
| Artif. végétalisé indéfini | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,2 | 0 | 0 | 77 [48 ; 95] |
| Artif. herbe et buissonnant | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,3 | 0 | 0 | 77 [48 ; 95] |
| Artif. arboré | 46 [14 ; 79] | 13 [4 ; 23] | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 4 [0 ; 9] | 9 | 77 [48 ; 95] |

*moyenne [min, max]*

Les stocks de carbone du sol dans les zones urbanisées sont estimés à partir d'une revue de littérature menée dans le cadre des travaux de thèse de C. Robert [721]. D'après ces travaux, les sols nus, revêtus ou artificialisés ont un stock moyen de 30 tC/ha ; les sols végétalisés en herbe ont un stock similaire, en moyenne, au stock sous prairie et les sols urbanisés arborés ont un stock similaire, en moyenne, au stock sous forêt. Pour les sous-catégories végétalisées, le stock de référence considéré pour les sols est donc le $COS_{REF}$ de la zone pédoclimatique. Pour rappel, ce stock dans l'inventaire est le stock moyen entre les stocks forêts et prairies du RMQS [424] par zone pédoclimatique.

Les deux tableaux suivants décrivent les gains et les pertes utilisés par le modèle. Il est important de noter que les flux de gains et de pertes sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en zones artificialisées (ou entre sous-catégories de zones artificialisées). Il s'agit de :

- *gains maximums annuels de référence* à appliquer à la maille devenue artificielle dans le cas où le stock du compartiment avant la conversion était inférieur au nouveau stock de référence ;
- *pertes maximums annuelles de référence* à appliquer si le stock initial était supérieur.

La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

Ces flux se basent sur des périodes de transition de 1 an, 20 ans ou 5 ans. Dans la plupart des cas, seuls des flux de pertes sont attendus pour la catégorie Zones Artificielles. Néanmoins des gains sont possibles dans certains cas (ex. conversion d'une culture sans biomasse ligneuse en une zone artificialisée arborée).

**Tableau 304 : Rappel des flux de gains de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| tC/ha/an | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Artif. indéfini | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,5 |
| Artif. bâti/revêtu indéfini | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,5 |
| Artif. bâtis, nus ou revêtus | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,5 |
| Artif. en partie bâtis, nus ou revêtus | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,5 |
| Artif. végétalisé indéfini | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,2 |
| Artif. herbe et buissonnant | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 6,3 | 0 | 0 | 1,2 |
| Artif. arboré | 1,1 [0,4 ; 2] | 0,3 [0,1 ; 0,6] | 0,0 | 0,0 | 3,6 | 6,3 | 0,1 [0 ; 0,23] | 0,5 | 1,2 |

*moyenne [min, max]*

**Tableau 305 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories de zones artificialisées, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| tC/ha/an | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Artif. indéfini | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -9,7 |
| Artif. bâti/revêtu indéfini | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -9,7 |
| Artif. bâtis, nus ou revêtus | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -9,7 |
| Artif. en partie bâtis, nus ou revêtus | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -9,7 |
| Artif. végétalisé indéfini | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -1,22 |
| Artif. herbe et buissonnant | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -1,22 |
| Artif. arboré | 0 | 0 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | 0 | 0 | -1,22 |

Il est important de souligner que, en Guyane, il est considéré que l'intégralité du carbone du sol est perdue suite aux défrichements vers zones artificialisées. En effet, une grande partie des défrichements correspond à de l'orpaillage, et dans ces cas le sol est clairement décapé ce qui entraîne une perte importante de carbone pour ce réservoir.

#### 1.1.1.27 Zones urbanisées restant zones urbanisées (4E1)

La catégorie « Zones artificialisées restant zones artificialisées » inclut des terres changeant de sous-catégories, par exemple des conversions entre zones artificialisées végétalisées en zones bâties ; et des terres restant dans la même sous-catégorie.

***Biomasse vivante (zones artificialisées restant zones artificialisées) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]***

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Pour les zones artificialisées restant zones artificialisées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories, on estime les pertes et gains de biomasse en différenciant différents types de biomasse : biomasse ligneuse type forêt [lb_f], biomasse ligneuse type culture pérenne [lb_cp], biomasse herbacée type culture annuelle [lb_ca] et biomasse herbacée type herbe [lb_hh]. Les stocks de référence de carbone dans la biomasse peuvent être différent selon les sous-catégories et engendre alors des flux d'absorption ou d'émissions. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF – général*).

*Flux estimés en complément*

***Bois mort et litière (zones urbanisées restant zones urbanisées) [dw ; lt]***

Dans les zones artificialisées restant zones artificialisées, qu'il y ait ou non une conversion entre sous-catégories (bâti, artificiel arboré…), on estime les pertes et gains de bois mort. En effet, les stocks de référence de carbone dans le bois mort peuvent être différents selon les sous-catégories. Ils sont nuls pour la plupart des sous-catégories des zones artificialisées. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF – général*). Les stocks et flux de référence ont été rappelés en début de section.

***Matière organique du sol (zones urbanisées restant zones urbanisées) - sols minéraux***

*Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille*

Dans les zones artificialisées restant zones artificialisées, les stocks de référence pour les sols minéraux varient selon les classes d'occupation, en fonction du degré de présence de sol végétalisé. Lors d'une conversion entre sous-catégories de zones artificialisées, des éventuels flux de carbone peuvent être estimés en cas de variation de stock entre l'occupation initiale et finale. Cependant, pour les terres restant dans la même sous-catégorie, aucune variation de stock n'est estimée pour le sol.

*Flux estimés en complément*

#### 1.1.1.28 Terres devenant zones urbanisées (4E2)

La catégorie Terres devenant Zones artificialisées reflète les dynamiques d'artificialisation du territoire et estime les flux de carbone associés. Il s'agit surtout de pertes de carbone (perte de biomasse, diminution du stock de carbone dans le sol) mais des gains sont aussi possibles (par exemple : gains de biomasse lié à la création d'une zone artificielle arborée sur une zone précédemment sans arbres).

***Tous compartiments – flux de carbone***

Les flux de carbone liés aux terres devenant Zones Artificialisées sont calculés via la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF-général*). Pour chaque compartiment carbone, ces flux dépendent du stock initial et du stock final dans la sous-catégorie concernée au sein de la catégorie Zones artificialisées.

***$N_2O$ de la minéralisation liée à la perte de C du sol***

Des émissions complémentaires de $N_2O$ (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées sont calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Terres devenant Zones Artificialisées. L'estimation des émissions directes de $N_2O$ liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0,01 tN-$N_2O$/tN. L'estimation des émissions indirectes de $N_2O$ liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-$N_2O$/tN (table 11.3).

***Emissions liées au brûlage sur site de biomasse lors d'une déforestation***

Des émissions complémentaires de $CH_4$, de $N_2O$ et de polluants associés au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, qu'elle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de $CH_4$, de $N_2O$ et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] – voir ci-après.

## 6.8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). L'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie CRT (i.e. 4.E).

Depuis l'édition d'inventaire 2016, l'incertitude des émissions de $CO_2$ du secteur des zones artificielles est estimée à partir d'une méthode de type Monte-Carlo permettant d'intégrer un maximum les interdépendances entre les sous-catégories. Sur le secteur dans son ensemble l'incertitude estimée sur ces émissions atteint la valeur de 32%, car les flux sont principalement dus à l'artificialisation des terres et l'incertitude est surtout due au manque de références sur les sols artificialisés et le comportement des stocks existants lors d'une artificialisation.

Les incertitudes sur les émissions de $CH_4$ et de $N_2O$ sont de 100% pour chaque polluant. Ceci est basé sur l'avis des experts sectoriels.

La méthodologie employée est la même tout au long de la période afin de garantir la cohérence temporelle. Les changements méthodologiques, lorsqu'ils adviennent, sont reportés sur l'ensemble de la période pour conserver cette cohérence.

## 6.8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

## 6.8.5 Recalculs

**Impacts des recalculs du CRT 4E**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 5 579 | 5 277 | 5 258 | 5 762 | 7 254 | 7 492 | 7 558 | 7 060 | 6 620 | 6 516 | 6 477 | 6 158 | 6 007 | 5 802 | 5 677 | 5 760 | 5 935 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 4 139 | 3 958 | 4 743 | 6 427 | 7 349 | 7 413 | 7 312 | 6 651 | 6 182 | 5 776 | 5 534 | 5 080 | 4 746 | 4 656 | 4 481 | 4 571 | 4 754 | 5 017 |
| Différence | kt CO2e | -1 440 | -1 319 | -515 | +664 | +95 | -79 | -245 | -409 | -439 | -740 | -943 | -1 078 | -1 261 | -1 146 | -1 196 | -1 188 | -1 181 | +5 017 |
| | % | -26% | -25% | -10% | +12% | +1% | -1% | -3% | -6% | -7% | -11% | -15% | -18% | -21% | -20% | -21,06% | -21% | -20% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /4.E

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

- De nouvelles modifications ont été faites concernant le suivi des terres spatialement explicite dans le cadre de l'amélioration continue de la méthode. Le mode d'attribution de la date d'artificialisation pour le module basé sur les bâtiments a été légèrement modifié, ce qui modifie la répartition temporelle de l'artificialisation. De plus, les étapes de traitement sont désormais réalisées sur la France entière en un seul tenant, ce qui limite les effets de bord qui avaient lieu entre départements.

**Raisons et justifications**

La modification du mode de suivi des terres permet de répondre aux nouvelles exigences du règlement LULUCF 2018/841 ainsi que Gouvernance 2018/1899. Elle permet d'améliorer la transparence des surfaces de changements d'usage des terres et sert de squelette au nouveau mode d'estimation de variation de stock de carbone à la maille par compartiment.

## 6.8.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue de l'UE de 2024, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| CRT category / issue | Review recommendation, technical correction or revised estimate | Review report / paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| FR-4E2-2024-0001 | Wetlands converted to settlements : the observation is closed here as partially resolved and will be followed up next year. | EMRT UE review plateform | Implemented (option 1 of improvement) : activity data and emissions are now consistent within the 2025 submission. Possible further improvement with option 2 later. |

## 6.8.7 Améliorations envisagées

*Espaces verts urbains*

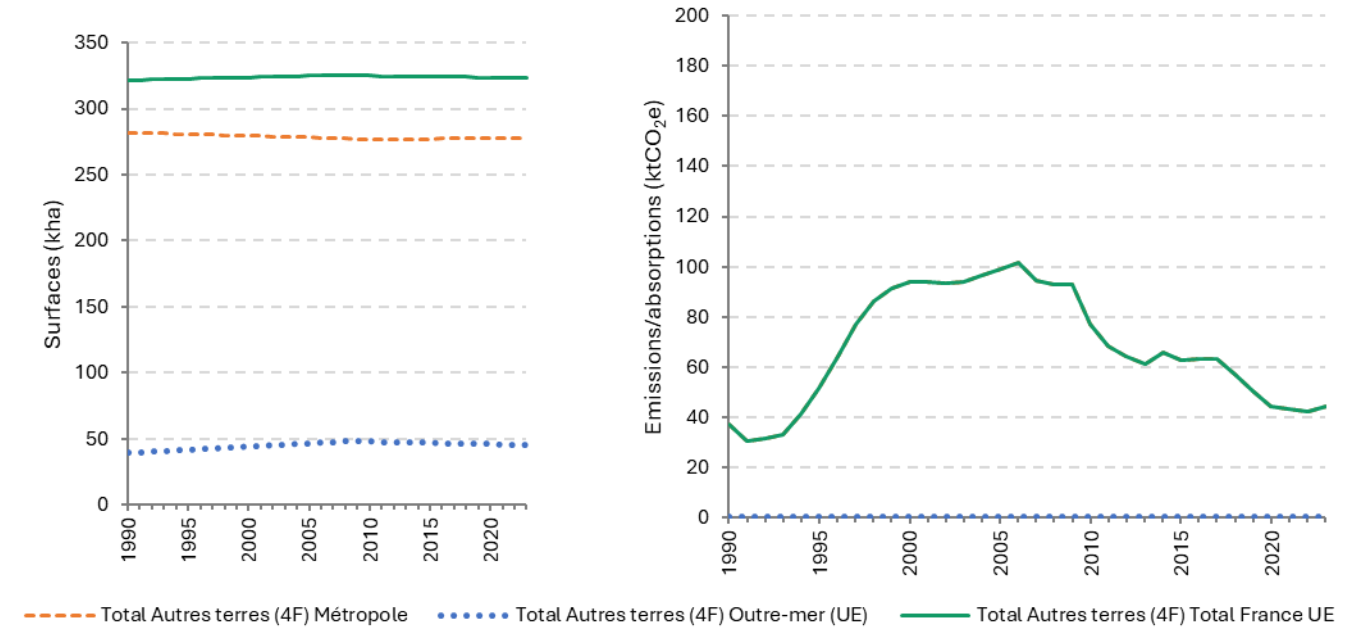
La distinction entre sous-catégorie d'espaces artificialisés permet de refléter le degré de présence de biomasse et de carbone dans le sol. Cependant, la caractérisation des mailles selon ces sous-catégories pourrait être améliorée en recourant par exemple à des données supplémentaires telles que les *High Resolution Layers*.

# 6.9 Autres terres (CRT 4F)

## 6.9.1 Caractéristiques de la catégorie

Les autres terres (roches affleurantes, etc.) couvrent environ 0,4 million d'hectares en 2022 et constituent la source la plus faible d'émissions compte tenu des faibles perturbations des sols et des faibles surfaces concernées. Il s'agit de terres sans stock de carbone significatif, ni dans les sols, ni dans la biomasse. Aucune émission ni absorption n'est rapportée sur les autres terres restant autres terres.

**Figure 213 : Surfaces et Emissions / Absorptions en autres terres**




Source Citepa / format France UE - mars 2025

RapportageUTCATF.xlsx/NIR2

**Tableau 306 : Surfaces en autres terres (en milliers d'ha)**

| | Surfaces (kha) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Autres terres (4F) | | | Autres terres restant Autres terres (4F1) | | | Terres devenant Autres terres (4F2) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | 282 | 40 | 321 | 279 | 32 | 311 | 2 | 8 | 10 |
| 1991 | 282 | 40 | 322 | 279 | 31 | 311 | 2 | 9 | 11 |
| 1992 | 281 | 41 | 322 | 279 | 31 | 310 | 2 | 10 | 12 |
| 1993 | 281 | 41 | 322 | 279 | 31 | 310 | 2 | 10 | 13 |
| 1994 | 281 | 42 | 323 | 279 | 30 | 309 | 2 | 11 | 14 |
| 1995 | 281 | 42 | 323 | 278 | 30 | 308 | 2 | 12 | 14 |
| 1996 | 281 | 42 | 323 | 278 | 30 | 308 | 2 | 13 | 15 |
| 1997 | 280 | 43 | 323 | 278 | 29 | 307 | 3 | 14 | 16 |
| 1998 | 280 | 43 | 323 | 277 | 29 | 306 | 3 | 15 | 17 |
| 1999 | 280 | 44 | 324 | 277 | 28 | 305 | 3 | 15 | 18 |
| 2000 | 279 | 44 | 324 | 276 | 28 | 304 | 3 | 16 | 19 |
| 2001 | 279 | 45 | 324 | 276 | 28 | 304 | 3 | 17 | 20 |
| 2002 | 279 | 45 | 324 | 276 | 28 | 303 | 3 | 18 | 21 |
| 2003 | 279 | 46 | 324 | 275 | 27 | 303 | 3 | 18 | 22 |
| 2004 | 278 | 46 | 325 | 275 | 27 | 302 | 3 | 19 | 23 |
| 2005 | 278 | 47 | 325 | 275 | 27 | 302 | 3 | 20 | 23 |
| 2006 | 278 | 47 | 325 | 274 | 27 | 301 | 4 | 21 | 24 |
| 2007 | 278 | 48 | 325 | 274 | 26 | 300 | 4 | 21 | 25 |
| 2008 | 277 | 48 | 326 | 274 | 26 | 300 | 4 | 22 | 26 |
| 2009 | 277 | 48 | 325 | 273 | 26 | 300 | 4 | 22 | 26 |
| 2010 | 277 | 48 | 325 | 273 | 27 | 299 | 4 | 21 | 26 |
| 2011 | 277 | 48 | 325 | 273 | 27 | 299 | 4 | 21 | 25 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2012 | 277 | 48 | 324 | 273 | 27 | 299 | 4 | 21 | 25 |
| 2013 | 277 | 47 | 324 | 273 | 27 | 300 | 4 | 20 | 25 |
| 2014 | 277 | 47 | 324 | 273 | 27 | 300 | 4 | 20 | 24 |
| 2015 | 277 | 47 | 324 | 273 | 27 | 300 | 4 | 20 | 24 |
| 2016 | 277 | 47 | 324 | 273 | 27 | 300 | 4 | 19 | 24 |
| 2017 | 277 | 47 | 324 | 273 | 27 | 301 | 4 | 19 | 23 |
| 2018 | 277 | 46 | 324 | 273 | 28 | 301 | 4 | 19 | 23 |
| 2019 | 278 | 46 | 324 | 274 | 28 | 301 | 4 | 18 | 22 |
| 2020 | 278 | 46 | 324 | 274 | 28 | 302 | 4 | 18 | 22 |
| 2021 | 278 | 46 | 323 | 274 | 28 | 302 | 4 | 18 | 21 |
| 2022 | 278 | 46 | 323 | 274 | 28 | 302 | 4 | 17 | 21 |
| 2023 | 278 | 45 | 323 | 274 | 28 | 303 | 4 | 17 | 21 |

**Tableau 307 : Emissions / Absorptions en autres terres (en ktCO₂e)**

| | Emissions / Absorptions (ktCO₂e) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Autres terres (4F) | | | Autres terres restant autres terres (4F1) | | | Terres devenant Autres terres (4F2) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | 37 | 0 | 37 | 0 | 0 | 0 | 37 | 0 | 37 |
| 1991 | 30 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0 | 30 |
| 1992 | 31 | 0 | 31 | 0 | 0 | 0 | 31 | 0 | 31 |
| 1993 | 33 | 0 | 33 | 0 | 0 | 0 | 33 | 0 | 33 |
| 1994 | 41 | 0 | 41 | 0 | 0 | 0 | 41 | 0 | 41 |
| 1995 | 51 | 0 | 51 | 0 | 0 | 0 | 51 | 0 | 51 |
| 1996 | 64 | 0 | 64 | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 64 |
| 1997 | 77 | 0 | 77 | 0 | 0 | 0 | 77 | 0 | 77 |
| 1998 | 86 | 0 | 86 | 0 | 0 | 0 | 86 | 0 | 86 |
| 1999 | 91 | 0 | 91 | 0 | 0 | 0 | 91 | 0 | 91 |
| 2000 | 94 | 0 | 94 | 0 | 0 | 0 | 94 | 0 | 94 |
| 2001 | 94 | 0 | 94 | 0 | 0 | 0 | 94 | 0 | 94 |
| 2002 | 93 | 0 | 93 | 0 | 0 | 0 | 93 | 0 | 93 |
| 2003 | 94 | 0 | 94 | 0 | 0 | 0 | 94 | 0 | 94 |
| 2004 | 96 | 0 | 96 | 0 | 0 | 0 | 96 | 0 | 96 |
| 2005 | 99 | 0 | 99 | 0 | 0 | 0 | 99 | 0 | 99 |
| 2006 | 102 | 0 | 102 | 0 | 0 | 0 | 102 | 0 | 102 |
| 2007 | 94 | 0 | 94 | 0 | 0 | 0 | 94 | 0 | 94 |
| 2008 | 93 | 0 | 93 | 0 | 0 | 0 | 93 | 0 | 93 |
| 2009 | 93 | 0 | 93 | 0 | 0 | 0 | 93 | 0 | 93 |
| 2010 | 77 | 0 | 77 | 0 | 0 | 0 | 77 | 0 | 77 |
| 2011 | 69 | 0 | 69 | 0 | 0 | 0 | 69 | 0 | 69 |
| 2012 | 64 | 0 | 64 | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 64 |
| 2013 | 61 | 0 | 61 | 0 | 0 | 0 | 61 | 0 | 61 |
| 2014 | 66 | 0 | 66 | 0 | 0 | 0 | 65 | 0 | 65 |
| 2015 | 63 | 0 | 63 | 0 | 0 | 0 | 63 | 0 | 63 |
| 2016 | 63 | 0 | 63 | 0 | 0 | 0 | 63 | 0 | 63 |
| 2017 | 63 | 0 | 63 | 0 | 0 | 0 | 63 | 0 | 63 |
| 2018 | 57 | 0 | 57 | 0 | 0 | 0 | 57 | 0 | 57 |
| 2019 | 50 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 | 50 |
| 2020 | 44 | 0 | 44 | 0 | 0 | 0 | 44 | 0 | 44 |
| 2021 | 43 | 0 | 43 | 0 | 0 | 0 | 43 | 0 | 43 |
| 2022 | 42 | 0 | 42 | 0 | 0 | 0 | 42 | 0 | 42 |
| 2023 | 44 | 0 | 44 | 0 | 0 | 0 | 44 | 0 | 44 |

## 6.9.2 Méthode d'estimation des émissions

***Emissions de $CO_2$***

*Emissions de $CO_2$ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone*

Les variations de stock de carbone associées aux terres converties en Autres Terres entrainent des flux de $CO_2$. La conversion du flux de C en $CO_2$ se base sur le rapport des masses moléculaires (44/12).

*Emissions de $CO_2$ liées au brûlage*

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Les émissions de $CO_2$ sont déjà comptabilisées au niveau de la perte de carbone lors du calcul de la variation de stock des différents réservoirs de carbone. Seules des émissions complémentaires d'autres gaz et substances sont estimées.

***Emissions de $CH_4$***

*Emissions de $CH_4$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Autres Terres. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

*Emissions de $CH_4$ liées au brûlage*

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de $CH_4$ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,012 $tCH_4/tC$ [199, table 3A.1.15].

***Emissions de $N_2O$***

*Emissions de $N_2O$ liées à la fertilisation (directes et indirectes)*

Aucune fertilisation n'est estimée sur les Autres terres.

*Emissions de $N_2O$ liées au drainage ou à la remise en eau*

Aucune émission liée au drainage ou à la remise en eau n'est estimée pour la catégorie Autres Terres. Ces émissions sont uniquement estimées pour les sols organiques des cultures et de prairies et sont négligées sur les autres catégories.

*Emissions de $N_2O$ liées à la minéralisation des sols*

Les émissions de $N_2O$ liées à la minéralisation des sols sont estimées en cohérence avec l'estimation des pertes de carbone.

*Emissions de $N_2O$ liées au brûlage*

Les Autres Terres sont des terres dénuées de végétation. Aucun feu de végétation, ni brûlage de résidu de récolte de bois, n'est estimé pour cette catégorie. Néanmoins, du brûlage contrôlé de biomasse est estimé lors d'une déforestation, qu'elle que soit la catégorie de destination. Des émissions de $N_2O$ associées à ce brûlage sont estimées, sur la base du facteur d'émission suivant : 0,007 $tN_2O/tN$, [199, table 3A.1.15], les quantités perdues de N étant estimées à partir du ratio N/C de 0,01 [199, p.3.50].

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant :

https://www.citepa.org/fr/ominea

De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

#### 1.1.1.29 Approche et données

***Approche et données***

*Approche générale*

Les flux de carbone sur l'ensemble des catégories de terres sont estimés en deux temps :

1. Dans un premier temps, la routine du *modèle de variation de stock par maille* estime, pour chaque année, et chaque compartiment, les flux par variation du stock pour tous les compartiments, en fonction des changements d'usage (y compris les changements entre sous-catégories d'une même catégorie Giec) ;
2. Dans un second temps, à une échelle plus désagrégée, d'autres flux de carbone sont ajoutés : flux complémentaires liés aux sols organiques drainés ; émissions de N2O liés à la perte de carbone, etc.

***Valeurs de référence***

Pour rappel, le modèle de variation de stock à la maille est décrit dans la partie *UTCATF général*.
Le tableau suivant rappelle les stocks de référence pour les sous-catégories des Autres terres. Ces derniers sont nuls pour toutes les sous-catégories et tous les compartiments.

**Tableau 308 : Rappel des stocks de référence pour les différentes sous-catégories des Autres terres, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tC/ha/an* | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Autres indéfini | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sols nus, minéraux indéf. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sols nus, sables, rochers | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Glaciers et neiges | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Le tableau suivant décrit les flux de référence utilisés par le modèle. Ce sont des flux maximums à appliquer lors de la conversion d'une maille en autres terres (ou entre sous-catégories). Il s'agit dans tous les cas de flux de pertes car aucun gain de carbone n'est possible pour la catégorie Autres Terres. En effet, les stocks de tous les compartiments étant nuls, la seule configuration possible est l'application d'un flux de perte, pour dégrader le stock de carbone existant lors de la conversion d'une maille en Autres terres.
La notion de « maximum » est utilisée car lorsque le modèle fait converger la maille vers son nouveau stock de référence, il utilise comme incrémentation ces valeurs de flux de référence mais s'arrête exactement au niveau du stock cible. Le flux la dernière année avant l'atteinte de ce stock peut donc être inférieur au flux de référence.

**Tableau 309 : Rappel des flux de pertes de référence pour les différentes sous-catégories des Autres terres, utilisées dans le modèle de variation de stock à la maille (métropole)**

| | Biomasse vivante | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tC/ha/an* | Type forêt aérien | Type forêt racinaire | Type cultures pérennes aérien | Type cultures pérennes racinaire | Type cultures annuelles (aérien + racinaire) | Type herbe (aérien + racinaire) | Bois mort | Litière | Sols minéraux |
| Autres indéfini | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -3,16 |
| Sols nus, minéraux indéf. | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -3,16 |
| Sols nus, sables, rochers | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | -50 | -10 | -3,16 |
| Glaciers et neiges | -200 | -50 | -20 | -10 | -3,6 | -6,3 | 0 | 0 | -3,16 |

#### 1.1.1.30 Autres terres restant autres terres

La catégorie « Autres terres restant autres terres » inclut des terres changeant de sous-catégories et des terres restant dans la même sous-catégorie.

***Tous compartiments***

Dans les autres terres restant autres terres, les stocks de référence pour tous les compartiments sont considérés à 0. Aucune variation de stock n'est estimée dans les autres terres restant autres terres, ni pour la biomasse vivante, le bois mort, la litière ou les sols.

Les lignes directrices du Giec [672] ne prévoient aucune estimation pour cette sous-catégorie. Les tables de rapportage des émissions et absorptions au titre de la CCNUCC (tables CRT) ne prévoient pas non plus la possibilité de rapporter des flux sur cette sous-catégorie.

#### 1.1.1.31 Terres devenant autres terres

Les terres devenant autres terres sont des conversions improbables ou très rares en France. Les lignes directrices du Giec [672] indiquent qu'il peut s'agir de déforestation suivie de forte dégradation des terres.

***Tous compartiments – flux de carbone***

Les flux de carbone liés aux terres devenant Autres Terres sont calculés via la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir section UTCATF-général*). Pour chaque compartiment carbone, ces flux dépendent du stock initial et du stock final dans la sous-catégorie concernée au sein de la catégorie Autres Terres.

Conformément aux recommandations du Giec [672], on considère une perte totale du carbone de la biomasse et du sol. Le stock de référence, pour tous les compartiments, sont fixés à zéro pour toutes les sous-catégories d'Autres terres. Les Terres devenant Autres terres engendrent généralement des pertes de carbone et donc des émissions de $CO_2$.

***$N_2O$ de la minéralisation liée à la perte de C du sol***

Des émissions complémentaires de $N_2O$ (protoxyde d'azote) associées à la minéralisation de l'azote lors d'une perte de carbone du sol sont estimées sont calculées en cohérence avec les pertes de carbone estimées pour les Terres devenant Autres terres. L'estimation des émissions directes de $N_2O$ liées à la minéralisation du carbone du sol se base sur les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 (eq. 11.8) pour le ratio C/N (15), et le facteur d'émission de 0.01 tN-$N_2O$/tN. L'estimation des émissions indirectes de $N_2O$ liées à la lixiviation de l'azote libéré lors de la minéralisation du carbone du sol prennent aussi en considération les paramètres de calculs fournis par le Giec (2006), à savoir la fraction lixiviée de 0,3 tN/tN et le facteur d'émission de 0,0075 tN-$N_2O$/tN (table 11.3).

***Emissions liées au brûlage sur site de biomasse lors d'une déforestation***

Des émissions complémentaires de $CH_4$, de $N_2O$ et de polluants associés au brûlage d'une partie de la biomasse perdue lors d'une déforestation sont estimées, qu'elle que soit la catégorie finale. La part de la quantité de biomasse brûlée sur site est estimée par hypothèse à 20% avec une fraction oxydée de 90% [199, p.93]. Les émissions associées de $CH_4$, de $N_2O$ et de polluants sont calculées sur la base de cette quantité de carbone de la biomasse brûlée sur site, et de facteurs d'émissions issus du Giec [199] – voir ci-après.

## 6.9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). L'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 3ème niveau de la catégorie CRT (i.e. 4.F1 et 4.F2).

Depuis l'édition d'inventaire 2016, l'incertitude des émissions de $CO_2$ du secteur des autres terres est estimée à partir d'une méthode de type Monte-Carlo permettant d'intégrer un maximum les interdépendances entre les sous-catégories. Sur le secteur dans son ensemble l'incertitude estimée sur ces émissions atteint la valeur de 82%, car les surfaces de changements relatives aux autres terres sont faibles et par conséquent incertaines.

La méthodologie employée est la même tout au long de la période afin de garantir la cohérence temporelle. Les changements méthodologiques, lorsqu'ils adviennent, sont reportés sur l'ensemble de la période pour conserver cette cohérence.

## 6.9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

## 6.9.5 Recalculs

**Impacts des recalculs du CRT 4F**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 127 | 118 | 124 | 115 | 124 | 123 | 122 | 122 | 127 | 144 | 139 | 133 | 133 | 128 | 125 | 126 | 126 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 37 | 51 | 94 | 99 | 77 | 69 | 64 | 61 | 65 | 63 | 63 | 63 | 57 | 50 | 44 | 43 | 42 | 44 |
| Différence | kt CO2e | -90 | -67 | -30 | -16 | -47 | -54 | -58 | -61 | -62 | -81 | -76 | -70 | -76 | -78 | -81 | -83 | -84 | +44 |
| | % | -71% | -57% | -24% | -14% | -38% | -44% | -47% | -50% | -49% | -57% | -55% | -53% | -57% | -61% | -64,69% | -66% | -67% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /4.F

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

- De nouvelles modifications ont été faites concernant le suivi des terres spatialement explicite dans le cadre de l'amélioration continue de la méthode. Cela impacte l'ensemble de la série temporelle sur les surfaces et les changements d'utilisation des terres. Les données d'activités sont modifiées et génèrent des recalculs pour toutes les années.

**Raisons et justifications**

La modification du mode de suivi des terres permet de répondre aux nouvelles exigences du règlement LULUCF 2018/841 ainsi que Gouvernance 2018/1899. Elle permet d'améliorer la transparence des surfaces de changements d'usage des terres et sert de squelette au nouveau mode d'estimation de variation de stock de carbone à la maille par compartiment.

## 6.9.6 Améliorations envisagées

Pas d'amélioration envisagée.

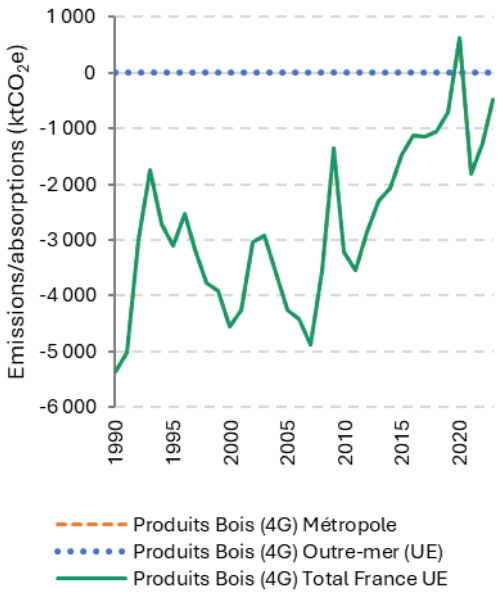
# 6.10 Produits bois (CRT 4G)

## 6.10.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette section concerne les absorptions et les émissions de $CO_2$ par les produits ligneux récoltés (PLR) aussi désignés par l'expression produits bois. Le puits sur les produits bois est estimé à la baisse sur la période du fait d'une diminution progressive de la récolte de bois pour du bois matériau. Les durées de vie de chacun de produits sont en revanche maintenues constantes au cours du temps.

**Tableau 310 : Emissions /absorptions pour les produits bois ($ktCO_2e$)**

| | Emissions / Absorptions (ktCO2e) | | |
|---|---|---|---|
| | Produits Bois (4G) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | -5 368 | 0 | -5 368 |
| 1991 | -5 022 | 0 | -5 022 |
| 1992 | -2 996 | 0 | -2 996 |
| 1993 | -1 745 | 0 | -1 745 |
| 1994 | -2 703 | 0 | -2 703 |
| 1995 | -3 109 | 0 | -3 109 |
| 1996 | -2 527 | 0 | -2 527 |
| 1997 | -3 171 | 0 | -3 171 |
| 1998 | -3 770 | 0 | -3 770 |
| 1999 | -3 916 | 0 | -3 916 |
| 2000 | -4 562 | 0 | -4 562 |
| 2001 | -4 243 | 0 | -4 243 |
| 2002 | -3 038 | 0 | -3 038 |
| 2003 | -2 909 | 0 | -2 909 |
| 2004 | -3 578 | 0 | -3 578 |
| 2005 | -4 263 | 0 | -4 263 |
| 2006 | -4 426 | 0 | -4 426 |
| 2007 | -4 879 | 0 | -4 879 |
| 2008 | -3 546 | 0 | -3 546 |
| 2009 | -1 353 | 0 | -1 353 |
| 2010 | -3 211 | 0 | -3 211 |
| 2011 | -3 538 | 0 | -3 538 |
| 2012 | -2 846 | 0 | -2 846 |
| 2013 | -2 304 | 0 | -2 304 |
| 2014 | -2 056 | 0 | -2 056 |
| 2015 | -1 475 | 0 | -1 475 |
| 2016 | -1 117 | 0 | -1 117 |
| 2017 | -1 155 | 0 | -1 155 |
| 2018 | -1 044 | 0 | -1 044 |
| 2019 | -696 | 0 | -696 |
| 2020 | 628 | 0 | 628 |
| 2021 | -1 816 | 0 | -1 816 |
| 2022 | -1 263 | 0 | -1 263 |
| 2023 | -486 | 0 | -486 |




## 6.10.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant :

https://www.citepa.org/fr/ominea

De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

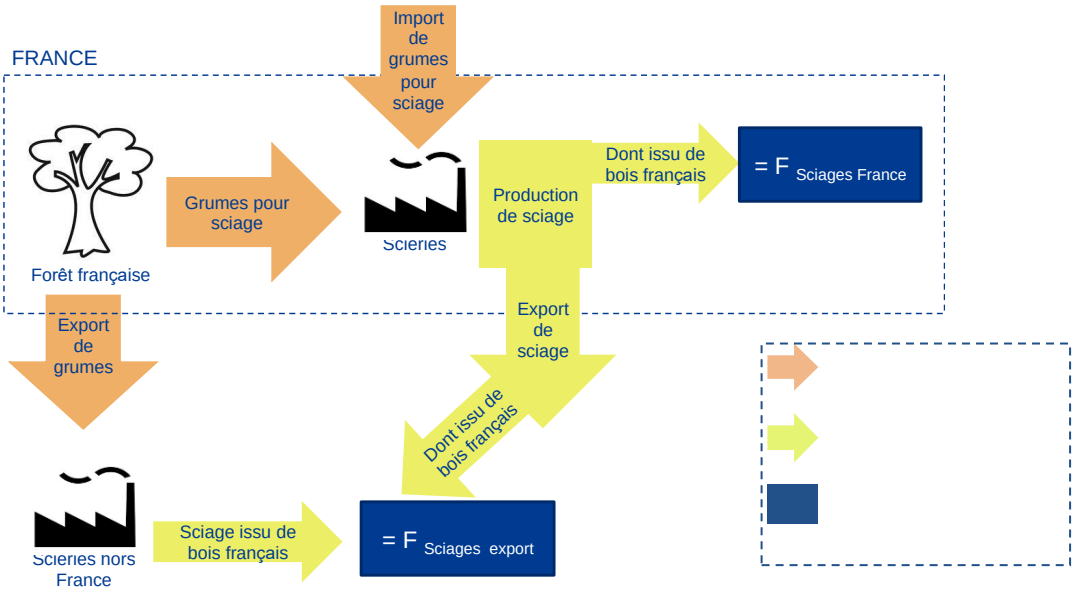
***Emissions de $CO_2$***

Les produits bois sont estimés dans l'inventaire sur la base des travaux menés au niveau national spécifiquement pour l'inventaire de GES France [674] et avec l'aide des lignes directrices du Giec 2006 [710] et du guide révisé du Giec 2013 [804].

Les produits bois sont comptabilisés selon une approche de production, qui prend en compte les produits bois fabriqués avec la récolte française, qu'ils soient destinés au marché français ou exportés. Les importations ne sont pas prises en compte. Les données d'activité (production aux différentes étapes de la chaine industrielle) proviennent notamment des enquêtes de branche du SSP, du ministère de l'Agriculture. Afin de prendre en compte les produits bois produits avant 2008, mais encore en cours de décomposition, la comptabilisation des PLR démarre dès 1900.

Le schéma général des flux pour le compartiment sciages est représenté sur la figure ci-dessous. Le flux entrant total correspond à la somme des deux flux représentés par les rectangles bleu marine. Les PLR récoltés en France sont pris en compte, mais les PLR importés (sciés en France à partir de bois non français) sont eux retranchés de la production. En revanche, les produits sciés à l'étranger à partir de bois français sont bien pris en compte.

**Figure 1 : Flux considérés dans la formulation concernant le compartiment "sciages"**




*Données*

Les données de production de bois sont issues principalement des statistiques du Ministère de l'Agriculture, mais aussi d'Eurostat, du FCBA et de la Copacel. Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 311 : Principales sources de données pour les Produits Ligneux Récoltés**

| Donnée | Source |
|---|---|
| **Sciage** | |
| Production de sciages de feuillus par les scieries françaises | DISAR Scieries |
| Production de sciages de résineux par les scieries françaises | DISAR Scieries |
| Exportation de sciages de feuillus | DISAR Conjoncture bois et dérivés |
| Exportation de sciages de résineux | DISAR Conjoncture bois et dérivés |
| Récolte de bois d'œuvre destiné au sciage, feuillus | DISAR Exploitations forestières |
| Récolte de bois d'œuvre destiné au sciage, résineux | DISAR Exploitations forestières |
| Récolte de chablis, bois d'œuvre, feuillus | DISAR Exploitations forestières |
| Récolte de chablis, bois d'œuvre, résineux | DISAR Exploitations forestières |
| Récolte de bois d'œuvre, feuillus | DISAR Exploitations forestières |
| Récolte de bois d'œuvre, résineux | DISAR Exploitations forestières |
| Exportation de bois d'œuvre, feuillus | DISAR Conjoncture bois et dérivés |
| Exportation de bois d'œuvre, résineux | DISAR Conjoncture bois et dérivés |
| Importation de bois d'œuvre pour sciage, feuillus | DISAR Scieries |
| Importation de bois d'œuvre pour sciage, résineux | DISAR Scieries |
| **Panneaux de process** | |
| Production annuelle de panneaux | EUROSTAT |
| Exportation annuelle de panneaux | EUROSTAT |
| Exportation de bois rond destiné à la trituration | DISAR Conjoncture bois et dérivés |
| Exportation de produits connexes de scierie | DISAR Conjoncture bois et dérivés |
| Réception de bois de trituration par les usines de panneaux | Memento FCBA |
| Réception de bois de trituration par les usines de pâte à papier | Memento FCBA |
| Production de trituration comme produits connexes de scierie | DISAR Scieries |
| Production de produits connexes de scierie | DISAR Scieries |
| Importation de bois rond destiné à la trituration | DISAR Conjoncture bois et dérivés |

| | |
|---|---|
| Importation de produits connexes de scierie | DISAR Conjoncture bois et dérivés |
| Récolte de bois de trituration par les exploitations forestières | DISAR Exploitations forestières |
| Récolte de chablis, trituration | DISAR Exploitations forestières |
| **Contreplaqués** | |
| Récolte de bois d'œuvre destiné au placage | DISAR Exploitations forestières |
| Exportation de bois d'œuvre destiné au placage | Calcul |
| Rendement grumes -> contreplaqués | Memento FCBA |
| Récolte totale de bois d'œuvre | DISAR Exploitations forestières |
| **Papiers et cartons** | |
| Rendement trituration -> papier 1 | COPACEL |
| Production de trituration comme produits connexes de scierie | DISAR Scieries |
| Exportation de produits connexes de scierie | DISAR Conjoncture bois et dérivés |
| Réception de bois de trituration par les usines de panneaux | Memento FCBA |
| Réception de bois de trituration par les usines de pâte à papier | Memento FCBA |

*Méthode*

Ces données permettent de reconstituer les flux entrants de produits bois issus de la forêt française et issus d'importation (qui doivent être exclus).

***Récupération des données disponibles***

Dans un premier temps, les données d'entrée disponibles dans les différentes bases de données source sont directement recopiées, dans l'unité correcte.

***Estimation des valeurs non disponibles***

Certaines valeurs ne sont plus disponibles. Des estimations sont faites à partir de ratio d'évolution à l'aide des autres données.

***Facteurs de conversion et paramètres***

Ces données sources sont combinées et converties avec différents paramètres :

- facteurs de conversion (0,675 t de bois de trituration/m3 de bois brut ; 0,5t de panneaux /m3) [674]
- taux de rendement (0,5 m3 sciage/m3 de bois rond sur écorce ; 0,47m3 de contreplaqué /m3 de grume ; 50% de rendement pour le papier journal et 25% pour le papier ramette) [674] ;
- répartition entre feuillus et résineux des produits issus du sciage [674] ;
- répartition des papiers entre journal (65%) et ramette (35%) [674].

*Durée de demi-vies*

**Tableau 312 : Durées de demi-vie des produits bois**

| Catégorie | Demi-vie | Source |
|---|---|---|
| Panneaux | 25 ans | Décision (UE) n°529/2013 du 21/05/2013 |
| Contreplaqués | 30 ans | IPCC, 2003 |
| Papier journal et ramette | 7 ans | Calcul Carbone 4 prenant en compte le recyclage, d'après IPCC, 2006 et COPACEL |
| Emballages | 3 ans | IPCC, 2003 |
| Ameublement | 10 ans | Carbone 4 d'après la durée de vie moyenne (FCBA 2008) |
| Agencement et menuiseries | 15 ans | |
| Couverture/Charpente | 50 ans | |
| Parquets/lambris | 30 ans | |

*Gestion des imports et des exports*

*Série temporelle des flux entrants dans les produits bois*

Le tableau ci-dessous présente la quantité de produits bois, exprimée en carbone, par grande catégorie, produits à partir de la récolte de bois intérieure.

**Tableau 313 : Production de produits bois issus des prélèvements intérieurs**

| | Sciages (tC) | Panneaux (tC) | Contreplaqués (tC) | Papier (tC) |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 1 767 711 | 1 470 432 | 247 959 | 1 062 247 |
| 1991 | 1 704 227 | 1 484 247 | 232 197 | 1 086 880 |
| 1992 | 1 624 455 | 1 063 938 | 218 389 | 1 062 646 |
| 1993 | 1 503 315 | 993 393 | 200 420 | 995 337 |
| 1994 | 1 586 991 | 1 043 309 | 213 623 | 1 105 568 |
| 1995 | 1 626 610 | 1 091 752 | 221 094 | 1 112 722 |
| 1996 | 1 547 069 | 1 181 167 | 208 955 | 1 020 014 |
| 1997 | 1 588 374 | 1 265 121 | 215 478 | 1 069 864 |
| 1998 | 1 656 320 | 1 381 503 | 224 062 | 1 074 375 |
| 1999 | 1 663 226 | 1 425 794 | 226 191 | 1 129 285 |
| 2000 | 1 594 720 | 1 418 932 | 314 326 | 1 252 324 |
| 2001 | 1 600 207 | 1 497 271 | 259 492 | 1 175 207 |
| 2002 | 1 461 478 | 1 462 506 | 219 609 | 1 092 332 |
| 2003 | 1 442 370 | 1 512 278 | 216 322 | 1 069 315 |
| 2004 | 1 480 056 | 1 578 936 | 220 494 | 1 125 219 |
| 2005 | 1 616 766 | 1 744 462 | 197 464 | 1 079 246 |
| 2006 | 1 659 308 | 1 737 707 | 206 368 | 1 107 149 |
| 2007 | 1 678 801 | 1 866 955 | 227 516 | 1 093 415 |
| 2008 | 1 567 497 | 1 692 090 | 223 228 | 1 030 687 |
| 2009 | 1 413 458 | 1 367 593 | 244 328 | 978 389 |
| 2010 | 1 456 182 | 1 611 760 | 183 860 | 1 179 914 |
| 2011 | 1 637 501 | 1 778 425 | 193 521 | 1 086 830 |
| 2012 | 1 466 928 | 1 711 011 | 168 392 | 1 024 936 |
| 2013 | 1 462 836 | 1 654 828 | 166 891 | 977 062 |
| 2014 | 1 403 950 | 1 575 174 | 183 438 | 1 014 121 |
| 2015 | 1 402 344 | 1 507 482 | 179 175 | 935 276 |
| 2016 | 1 388 687 | 1 471 132 | 193 084 | 879 351 |
| 2017 | 1 428 177 | 1 417 872 | 206 352 | 868 344 |
| 2018 | 1 437 471 | 1 408 983 | 221 864 | 813 170 |
| 2019 | 1 365 596 | 1 411 414 | 213 576 | 800 072 |
| 2020 | 1 336 071 | 1 066 826 | 193 412 | 824 775 |
| 2021 | 1 524 913 | 1 398 829 | 209 296 | 913 961 |
| 2022 | 1 503 259 | 1 299 906 | 193 412 | 893 154 |

L'intégralité du bilan des produits bois utilisées dans l'inventaire est disponible par produit et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

*Estimation des flux sortants : fonction de décomposition et durées de vie des produits bois*

La fonction de décomposition de 1er ordre proposée par le Giec (2006) est utilisée. La fonction Gamma, utilisée dans les précédentes éditions d'inventaire, n'est plus utilisée. L'approche préconisée par le Giec est appliquée, notamment dans le cadre du règlement EU 2018/841.

*Série temporelle des flux sortants des produits bois*

Le tableau ci-dessous présente la quantité de produits bois en fin de vie (flux sortants), exprimée en carbone, par grande catégorie.

**Tableau 314 : Fin de vie des produits bois issus des prélèvements intérieurs**

| | Sciages (tC) | Panneaux (tC) | Contreplaqués (tC) | Papier (tC) |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 1 221 325 | 810 238 | 127 327 | 909 910 |
| 1991 | 1 245 619 | 828 481 | 129 902 | 925 133 |
| 1992 | 1 258 876 | 840 640 | 132 080 | 940 424 |
| 1993 | 1 260 027 | 845 777 | 133 845 | 948 602 |
| 1994 | 1 260 065 | 850 499 | 135 517 | 956 573 |
| 1995 | 1 267 093 | 856 437 | 137 387 | 971 886 |
| 1996 | 1 271 433 | 864 100 | 139 160 | 981 402 |
| 1997 | 1 273 937 | 873 923 | 140 828 | 986 811 |
| 1998 | 1 282 196 | 886 219 | 142 632 | 994 633 |
| 1999 | 1 293 320 | 900 371 | 144 516 | 1 002 774 |
| 2000 | 1 299 323 | 914 644 | 147 392 | 1 019 613 |
| 2001 | 1 301 053 | 929 510 | 150 576 | 1 039 502 |
| 2002 | 1 295 794 | 944 558 | 152 607 | 1 049 760 |
| 2003 | 1 284 134 | 959 405 | 154 099 | 1 052 286 |
| 2004 | 1 276 029 | 975 439 | 155 568 | 1 056 386 |
| 2005 | 1 279 350 | 994 215 | 156 787 | 1 060 967 |
| 2006 | 1 291 895 | 1 014 638 | 157 818 | 1 063 727 |
| 2007 | 1 305 729 | 1 036 186 | 159 170 | 1 067 644 |
| 2008 | 1 312 677 | 1 056 501 | 160 681 | 1 068 923 |
| 2009 | 1 305 405 | 1 069 424 | 162 352 | 1 061 335 |
| 2010 | 1 294 685 | 1 080 932 | 163 531 | 1 061 428 |
| 2011 | 1 298 616 | 1 097 736 | 164 106 | 1 069 730 |
| 2012 | 1 302 550 | 1 115 424 | 164 490 | 1 069 745 |
| 2013 | 1 297 504 | 1 130 938 | 164 562 | 1 063 307 |
| 2014 | 1 290 592 | 1 144 170 | 164 805 | 1 057 096 |
| 2015 | 1 282 268 | 1 155 026 | 165 181 | 1 050 792 |
| 2016 | 1 275 042 | 1 164 165 | 165 661 | 1 037 892 |
| 2017 | 1 270 764 | 1 171 827 | 166 439 | 1 023 049 |
| 2018 | 1 269 810 | 1 178 433 | 167 528 | 1 006 630 |
| 2019 | 1 265 935 | 1 184 771 | 168 674 | 987 940 |
| 2020 | 1 257 765 | 1 186 235 | 169 469 | 970 182 |
| 2021 | 1 259 602 | 1 187 531 | 170 198 | 959 898 |
| 2022 | 1 269 311 | 1 191 950 | 170 909 | 954 586 |

L'intégralité du bilan des produits bois utilisées dans l'inventaire est disponible par produit et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

***Discussion***

*Différence entre l'approche Giec (appliquée) et l'approche Gamma (non utilisée)*

La fonction plus évoluée, à deux paramètres, qui s'appuie sur la fonction de distribution Gamma présentait notamment l'intérêt de corriger l'erreur intrinsèque portée par la fonction de décomposition de 1$^{er}$ ordre, qui considère que la décomposition maximale d'une catégorie de produits a toujours lieu la première année. C'est en effet incorrect dans les faits pour les produits bois à longue durée de vie, par exemple.

*Origine du bois récolté – part issue de récoltes en France*

Les produits ligneux récoltés importés (sciés en France à partir de bois non français) sont retranchés de la production prise en compte dans le bilan des produits bois. Les données statistiques du Ministère de l'Agriculture sur le commerce extérieur du bois permettent de connaître les quantités de grumes importées achetées par les scieries, et ainsi connaître la part du bois entrant qui provient de l'étranger. Ainsi, cette part est retranchée du bois entrant pour ne prendre en compte que la part issue de récoltes domestiques.

L'équation suivante synthétise ce calcul :

**Équation 32 (UTCATF)**

$$P_{dom} = P_{tot} \times \frac{P_{fra}}{P_{fra} + I}$$

Avec :

| | |
|---|---|
| Pdom | Production de sciages issue de bois domestique |
| Ptot | Production de sciages totaux en France métropolitaine (données DISAR) |
| Pfra | Récolte de bois destiné au sciage (récoltes classiques et accidentelles) |
| I | Import (achats de grumes – données DISAR sur le commerce extérieur du bois) |

La production de sciages totaux en France provient de l'enquête annuelle Exploitations forestières et scieries (EXF-SRI) qui mesure la production en quantités physiques en France métropolitaine, de l'ensemble des branches d'activité Exploitations forestières et scieries. Elle permet de connaître chaque année les volumes de bois récoltés, de bois sciés, de merrains ou bois sous rails et de certains produits finis.

Les données sur les achats de grume sont suivies par le service statistique du Ministère de l'Agriculture à partir de deux sources :

- Intra UE, les déclarations d'échanges mensuelles de biens fournies par les entreprises sont obligatoires pour les entreprises dépassant 460 000 € d'échanges annuels avec l'UE. Les données sous ce seuil déclaratif font l'objet d'estimation par pays.
- Pour les pays hors UE, tous les échanges de marchandises sont déclarés directement au passage de la frontière sur la base d'un Document administratif unique.

*Origine du bois récolté – répartition entre boisements et forêt restant forêt*

L'ensemble du bois récolté en France, et alimentant les réservoirs des produits bois issus de production domestique, provient de la catégorie « forêt restant forêt », c'est-à-dire les forêts de plus de 20 ans, à dire d'expert.

*Origine du bois récolté – Outre-mer*

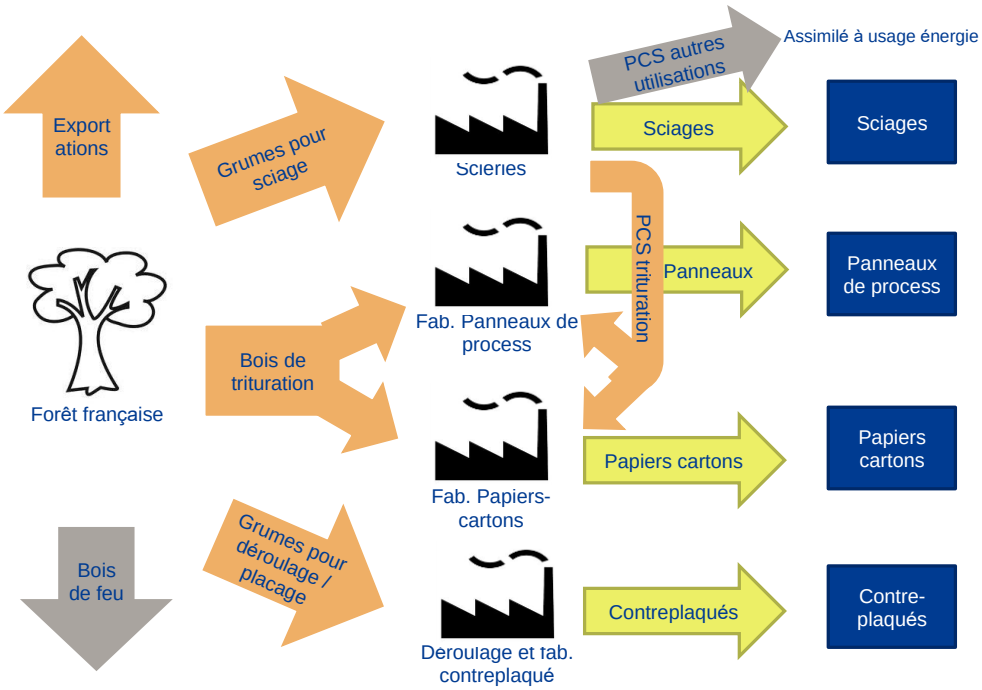
Les statistiques de production de sciages (l'enquête annuelle Exploitations forestières et scieries (EXF-SRI) sont uniquement disponibles pour la France métropolitaine. Dans l'inventaire, les flux des produits bois issus d'Outre-mer sont donc comptabilisés en tant qu'oxydation instantanée.

Le seul territoire d'Outre-mer pour lequel une récolte de bois est estimée dans l'inventaire est la Guyane. Sur ce territoire, les pertes liées à ces récoltes sont compensées par des regains, étalés dans le temps. Les récoltes en Guyane sont estimées à environ 50 000 $m^3$ en 2000 et 90 000 $m^3$ en 2020, soit 0,2% environ de la récolte métropolitaine. L'hypothèse d'oxydation instantanée est une hypothèse conservatrice appliquée en attendant d'inclure des estimations plus fines basées sur des données plus précises sur le devenir des bois récoltés en Outre-mer.

*Bois énergie et déchets :*

Les PLR entrant dans ces deux catégories sont comptabilisés dans des secteurs séparés (respectivement secteur énergie, et secteur traitement des déchets) par la méthode d'oxydation instantanée. La figure ci-dessous procure une vision d'ensemble (simplifiée) des flux principaux qui structurent l'ensemble de la méthode. En gris figurent les flux non pris en compte dans la méthode, ici parce qu'ils concernent une utilisation énergétique :

**Figure 214 : Vision d'ensemble des flux utilisés dans la méthode**




***Emissions de $CH_4$***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances provenant des produits bois.

***Emissions de $N_2O$***

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances provenant des produits bois.

## 6.10.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 7. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes associées au secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 4G).

L'incertitude estimée pour les données d'activité est de 10%, et de 100% pour les facteurs d'émission de $CO_2$. Ceci est basé sur l'avis des experts sectoriels.

## 6.10.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

## 6.10.5 Recalculs

**Impacts des recalculs du CRT 4G**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | -5 401 | -3 109 | -4 455 | -4 175 | -3 127 | -3 953 | -2 698 | -2 166 | -1 970 | -1 416 | -1 059 | -1 110 | -963 | -674 | 691 | -1 750 | -1 086 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | -5 368 | -3 109 | -4 562 | -4 263 | -3 211 | -3 538 | -2 846 | -2 304 | -2 056 | -1 475 | -1 117 | -1 155 | -1 044 | -696 | 628 | -1 816 | -1 263 | -486 |
| Différence | kt CO2e | +33 | +0,46 | -108 | -88 | -83 | +415 | -148 | -138 | -87 | -59 | -58 | -45 | -81 | -23 | -63 | -66 | -177 | -486 |
| | % | -1% | -0% | +2% | +2% | +3% | -10% | +5% | +6% | +4% | +4% | +5% | +4% | +8% | +3% | -9,13% | +4% | +16% | - |

Source Citepa / mars_2025 — RecalcuL_CRT.xlsm /4.G

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

- Correction d'une erreur sur les données d'exportation de bois d'œuvre affectant la répartition entre résineux et feuillus depuis 2005.
- Modification de la valeur d'exportation de bois d'œuvre de résineux jugée extrême pour l'année 2011, remplacée par une estimation basée sur les années 2010 et 2012.
- Pour l'année 2022, mise à jour de l'extrapolation réalisée pour la dernière édition en intégrant les nouvelles données issues des enquêtes désormais disponibles.

## 6.10.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2022, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| Sector / CRF category / issue | Review recommendation | Review report/ paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| **LULUCF** 4.G HWP – CO2 (L.24, 2021), (L.39, 2019) Transparency | Provide information in the NIR on the HWP in SWDS, namely, whether the emissions/removals are significant; if they are insignificant, "NE" can be reported, but if they are significant, AD should be collected and tier 1 data, consistent with the waste sector, used for calculating the estimates Not resolved. The ERT noted that France did not provide information in the NIR on the significance of CO2 emissions and removals for HWP stored in SWDS and continued to report them as "NE" in CRF table 4.G (sheet 1) under approach B. During the review, the Party clarified that it is not planning to address this issue yet. | 2022 Review ARR / L.15 | Not yet implemented. Not yet planned to investigate on this item for the next submission. |

## 6.10.7 Améliorations envisagées

Il est envisagé d'améliorer les points suivants :

- Amélioration de la robustesse de l'estimation des récoltes de bois, en cohérence avec les travaux en cours sur les différences entre IGN et EAB, l'estimation des récoltes de bois énergie en forêt et hors forêt, et les estimations sur l'import/export
- Mise à jour de l'estimation des durées de vie des produits bois, variation de ces paramètres dans le temps, meilleure pris en compte du recyclage ;
- Mise à jour des données sur la répartition des sciages par type de produits.

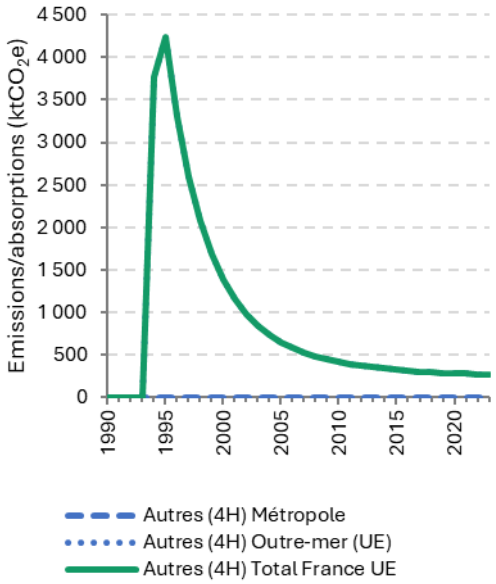
# 6.11 Autres (CRT 4H)

## 6.11.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette catégorie comporte le barrage de Petit Saut en Guyane mis en eau en 1994 qui s'étend sur 30 000 ha.

**Figure 215 : Emissions de $CH_4$ et de $CO_2$ dues au barrage de Petit-Saut en Guyane**

| | Emissions / Absorptions (ktCO2e) | | |
|---|---|---|---|
| | Autres (4H) | | |
| | Métropole | Outre-mer (UE) | Total France UE |
| 1990 | 0 | 0 | 0 |
| 1991 | 0 | 0 | 0 |
| 1992 | 0 | 0 | 0 |
| 1993 | 0 | 0 | 0 |
| 1994 | 0 | 3 766 | 3 766 |
| 1995 | 0 | 4 239 | 4 239 |
| 1996 | 0 | 3 296 | 3 296 |
| 1997 | 0 | 2 597 | 2 597 |
| 1998 | 0 | 2 074 | 2 074 |
| 1999 | 0 | 1 681 | 1 681 |
| 2000 | 0 | 1 383 | 1 383 |
| 2001 | 0 | 1 156 | 1 156 |
| 2002 | 0 | 981 | 981 |
| 2003 | 0 | 845 | 845 |
| 2004 | 0 | 738 | 738 |
| 2005 | 0 | 653 | 653 |
| 2006 | 0 | 585 | 585 |
| 2007 | 0 | 531 | 531 |
| 2008 | 0 | 486 | 486 |
| 2009 | 0 | 449 | 449 |
| 2010 | 0 | 419 | 419 |
| 2011 | 0 | 394 | 394 |
| 2012 | 0 | 372 | 372 |
| 2013 | 0 | 354 | 354 |
| 2014 | 0 | 339 | 339 |
| 2015 | 0 | 326 | 326 |
| 2016 | 0 | 315 | 315 |
| 2017 | 0 | 306 | 306 |
| 2018 | 0 | 297 | 297 |
| 2019 | 0 | 290 | 290 |
| 2020 | 0 | 284 | 284 |
| 2021 | 0 | 279 | 279 |
| 2022 | 0 | 274 | 274 |
| 2023 | 0 | 270 | 270 |




## 6.11.2 Méthode d'estimation des émissions

La mise en eau d'un barrage est une source potentielle de $CH_4$ et $CO_2$ par dégradation de la biomasse immergée. La mise en eau en 1994 du barrage de Petit Saut en Guyane a conduit à inonder 300 $km^2$ de forêt tropicale, ces émissions ont pu être estimées par plusieurs travaux successifs notamment des thèses [425, 599, 600] et ajoutées de manière spécifique à l'inventaire français. Les émissions associées sont rapportées sous la catégorie 4H pour plus de transparence.

***Emissions de $CO_2$, $CH_4$***

Les émissions de $CH_4$ et de $CO_2$ du barrage de Petit-Saut ont récemment été mises à jour sur la base des dernières données disponibles dans la publication de DESCLOUX [600].

***Emissions de $N_2O$***

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant

https://www.citepa.org/fr/ominea

De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

## 6.11.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 7. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes associées au secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 4H).

L'incertitude estimée pour les données d'activité est de 5%, et de 30% pour les facteurs d'émission de $CO_2$. L'incertitude des émissions de $CH_4$ est de 100%. Ceci est basé sur l'avis des experts sectoriels.

## 6.11.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

## 6.11.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 4H**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 0 | 4 239 | 1 383 | 653 | 419 | 394 | 372 | 354 | 339 | 326 | 315 | 306 | 297 | 290 | 284 | 279 | 274 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 0 | 4 239 | 1 383 | 653 | 419 | 394 | 372 | 354 | 339 | 326 | 315 | 306 | 297 | 290 | 284 | 279 | 274 | 270 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +270 |
| | % | - | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /4.H

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

Pas de recalcul.

## 6.11.6 Améliorations envisagées

Pas d'amélioration envisagée.



# 7. DECHETS (CRT 5)

# 7.1 Présentation générale du secteur

*Déchets solides*

Les différents procédés de traitement des déchets mis en œuvre engendrent des rejets atmosphériques parfois significatifs de substances comme le $CH_4$ des Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux (ISDND), certains métaux lourds et polluants organiques persistants en ce qui concerne l'incinération.

Les déchets solides de toute nature sont générés par les ménages, les collectivités et les entreprises (commerces, industries, BTP, installations agricoles etc.). Une partie des déchets des collectivités et des entreprises est traitée dans des installations recevant des déchets ménagers et est assimilée à des déchets ménagers.

Tous les deux ans, le service statistique du ministère de l'environnement (SDES[35]) publie un bilan de la production et du traitement de déchets à partir des données rapportées à Eurostat dans le cadre du règlement n°849/2010 relatif aux statistiques sur les déchets.

**Tableau 315 : Production de déchets en France métropolitaine 2018 – 2020 (source : SDES)**

En milliers de tonnes

| | Agriculture pêche | | Industrie | | Construction | | Traitement déchets, eau, assainissement, dépollution | | Tertiaire | | Ménages | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2018 | 2020 | 2018 | 2020 | 2018 | 2020 | 2018 | 2020 | 2018 | 2020 | 2018 | 2020 | 2018 | 2020 |
| Déchets minéraux non dangereux | 0 | 0 | 4 338 | 1 326 | 224 162 | 197 394 | 3 382 | 2 978 | 806 | 839 | 2 857 | 2 893 | 235 544 | 205 429 |
| Déchets non minéraux non dangereux | 979 | 954 | 18 664 | 15 879 | 13 056 | 12 724 | 20 198 | 18 435 | 17 149 | 15 956 | 25 886 | 29 756 | 95 932 | 93 704 |
| Déchets dangereux | 331 | 337 | 2 880 | 2 399 | 2 972 | 2 615 | 3 652 | 3 609 | 1 221 | 1 387 | 1 042 | 894 | 12 098 | 11 241 |
| **Total** | **1 310** | **1 291** | **25 882** | **19 603** | **240 190** | **212 733** | **27 232** | **25 022** | **19 175** | **18 182** | **29 785** | **33 544** | **343 574** | **310 374** |
| **Évolution 2018/2020 en %** | **- 1,4** | | **- 24,3** | | **- 11,4** | | **- 8,1** | | **- 5,2** | | **+ 12,6** | | **- 9,7** | |
| Total hors déchets secondaires | 1 310 | 1 290 | 25 580 | 19 247 | 240 188 | 212 731 | 15 396 | 14 909 | 19 154 | 18 161 | 29 785 | 33 544 | 331 413 | 299 882 |

***Source :*** *SDES, octobre 2022*

Les déchets minéraux non dangereux sont, compte tenu de leur nature, très majoritairement produit par les industries de la construction (96%) tandis que les déchets non minéraux non dangereux et les déchets dangereux sont générés par des secteurs bien plus divers. En effet les déchets non minéraux non dangereux sont produits principalement par les ménages (près de de 32%) et dans des proportions très proches par les autres secteurs d'activités. Les déchets dangereux eux principalement produits par les industries manufacturières, de la construction et du traitement des déchets, eau, assainissement et dépollution. Ces trois secteurs comptabilisaient ensemble plus de 75% des déchets dangereux générés en 2020.

[35] SDES : Service de la Données et des Etudes Statistiques (ex : SOES) (Service statistique des ministères en charge des transports et de l'environnement)

**Figure 216 : Contribution relative des secteurs d'activité en France (2020) à la production de déchets**

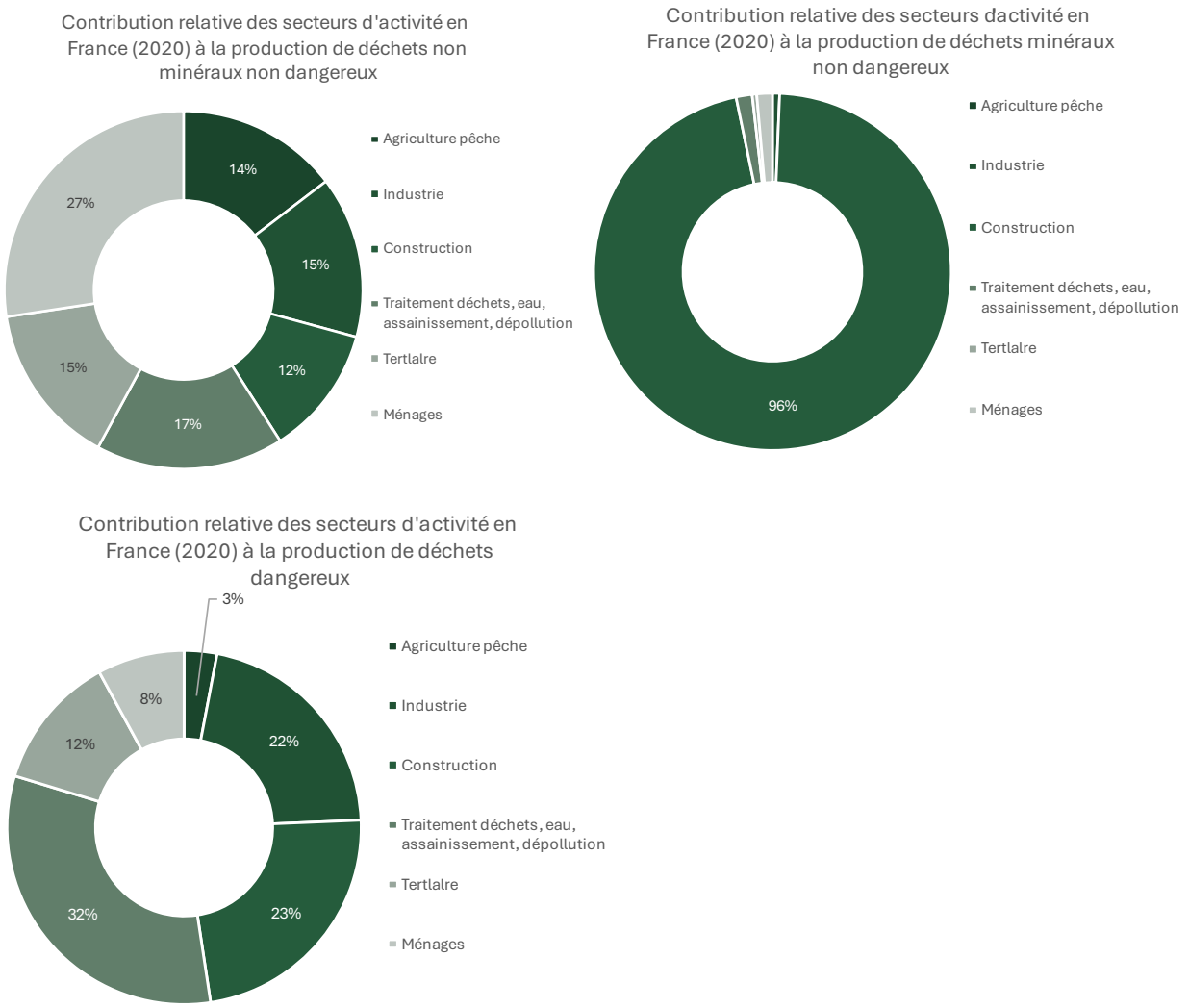



**Tableau 316 : Traitement de déchets en France métropolitaine 2018 - 2020 (source : SDES)**

En milliers de tonnes

| | Incinération avec récupération d'énergie | | Incinération sans récupération d'énergie | | Valorisation matière | | Stockage | | Épandage | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2018 | 2020 | 2018 | 2020 | 2018 | 2020 | 2018 | 2020 | 2018 | 2020 | 2018 | 2020 |
| Déchets minéraux | 4 | 4 | 1 | 1 | 172 747 | 151 363 | 62 792 | 53 300 | 0 | 0 | 235 544 | 204 668 |
| Déchets non minéraux non dangereux | 16 723 | 21 378 | 2 568 | 2 553 | 38 857 | 34 633 | 21 178 | 20 626 | 728 | 558 | 80 054 | 79 748 |
| Déchets dangereux | 1 086 | 1 106 | 1 794 | 1 691 | 2 660 | 2 435 | 3 161 | 2 887 | 0 | 0 | 8 700 | 8 119 |
| **Total** | **17 812** | **22 488** | **4 363** | **4 245** | **214 264** | **188 432** | **87 130** | **76 813** | **728** | **558** | **324 298** | **292 534** |

***Source :*** *SDES, octobre 2022*

Les quantités traitées en 2018 (324,3 millions de tonnes) sont inférieures de 5,6% aux quantités produites la même année (contre 5,7% en 2020). Cette différence récurrente a plusieurs causes d'après le SDES : solde des exportations et des importations, effets de stock, détermination en poids sec ou humide des déchets, mais également imprécision de la mesure (quantités évaluées en poids, parfois en volume) [978].

En raison du poids du secteur de la construction en France, les déchets minéraux représentent plus des 2/3 des déchets produits : 236 millions de tonnes en 2018 et 205 millions de tonnes en 2020. Ces déchets minéraux regroupent les catégories « déchets minéraux » (déchet 40 de la liste CED-stat), les autres minéraux non dangereux (déchet 42 de la liste CED-stat) et les terres (déchet 46 de la liste CED-stat). Les déchets minéraux sont des déchets inertes et en particulier les déchets de bois en sont exclus. Il n'y a donc aucune émission de GES associée à ces déchets lors du stockage ou du remblaiement de carrière (considéré comme une opération de valorisation).

Par ailleurs, l'ADEME[36] réalise une enquête tous les deux ans, dite ITOM (Installations de Traitement des Ordures Ménagères), auprès de toutes les installations de traitement qui accueillent au moins des déchets collectés dans le cadre du service public d'élimination des déchets (centres de tri, traitements thermiques et biologiques, stockage des déchets non dangereux). La dernière édition de cette enquête a été publiée en 2024 et traite des déchets ménagers traités en 2022. Cette enquête couvre le territoire métropolitain, la Polynésie française, la Martinique, la Réunion, la Guadeloupe, Saint-Barthélemy, Saint-Martin et Mayotte. L'ADEME réalise également tous les deux ans une enquête sur la collecte des déchets (publique, organisée par les entreprises et les filières REP[37]), dite enquête COLLECTE.

La dernière synthèse publiée en 2022 par l'ADEME sur les quantités de déchets produits concerne l'année 2018. Elle s'appuie sur les enquêtes ITOM et COLLECTE et sur le bilan du SDES.

Les DAE (Déchets des Activités Economiques), sont des déchets, dangereux ou non, dont le producteur initial n'est pas un ménage. Ils regroupent l'ensemble des secteurs de la production (agriculture-pêche, construction, tertiaire, industrie, etc.).

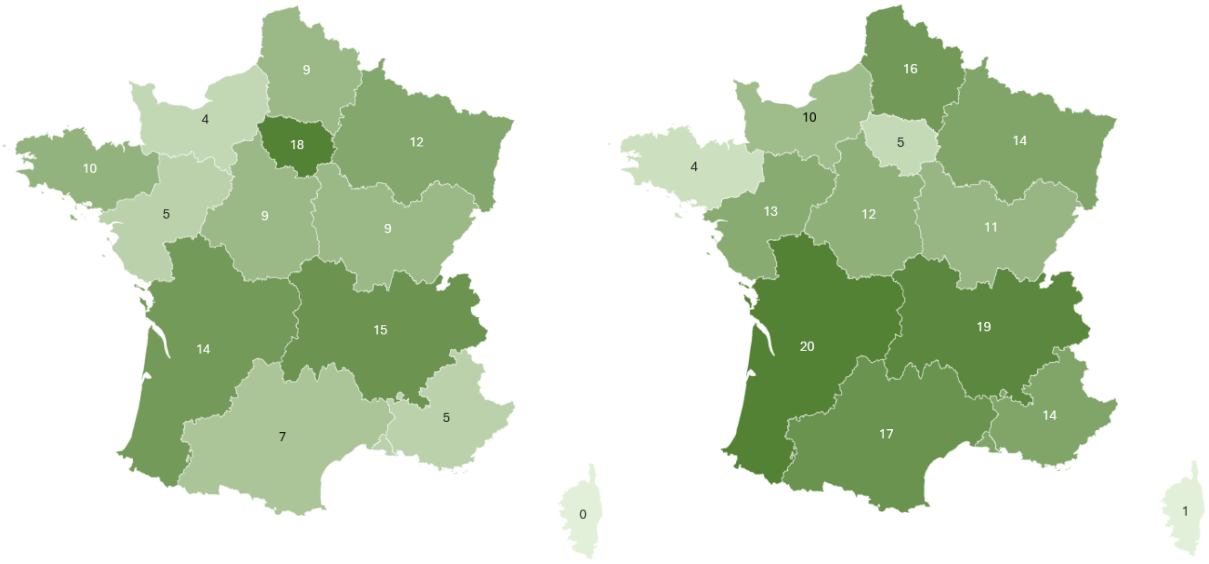
Les DMA (Déchets Ménagers et Assimilés) englobent les déchets des collectivités, les déchets des ménages et une partie des déchets non dangereux des entreprises collectés selon les mêmes modes que les deux types de déchets précédents.

Les installations de traitement recevant des DMA font l'objet du recensement ITOM de l'ADEME. L'enquête distingue les modes de traitement suivants en 2022 :

- Stockage en ISDND (187 sites)
- Incinération avec et sans récupération d'énergie (119 sites)
- Compostage (667 sites)
- Méthanisation (16 sites)
- Compostage ou méthanisation avec Tri mécano biologiques (TMB) en amont (33 sites)
- Tri de DMA (351 sites)

Sur le territoire métropolitain et ultramarin inclus dans l'UE, les sites de stockage de déchets non dangereux (carte de droite ci-dessous) sont répartis de manière assez homogène entre les différentes régions. Dans une moindre mesure, on retrouve cet étalement des sites d'incinération des ordures ménagères (carte de gauche ci-dessous) bien que ces derniers soient plus concentrés en Région Île de France et bien plus absents des territoires ultramarins.

**Figure 217 : Parc français (en nombre) des installations d'incinération des ordures ménagères (gauche) et de stockage de déchets non dangereux (droite)**

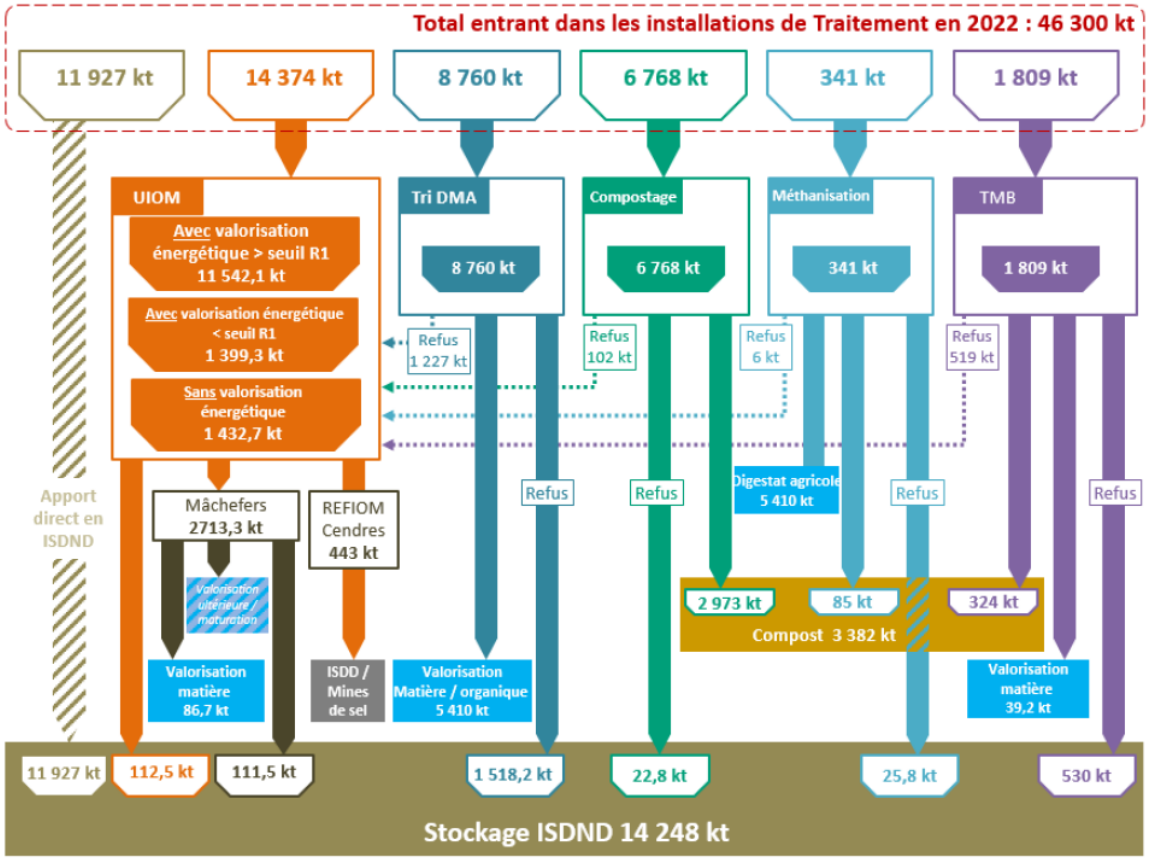



Une partie importante des déchets DAE est traitée en ITOM avec les DMA, qu'ils soient l'objet d'une collecte public commune avec les déchets des ménages (on dit alors qu'ils sont « assimilés ») ou séparée via un prestataire de l'entreprise les produisant.

[36] ADEME : Agence de la Transition Ecologique (établissement public national sous tutelle du ministère français en charge de l'environnement)

[37] REP : Responsabilité Elargie des Producteurs (collecte séparée d'une vingtaine de types de déchets : emballages, piles et accumulateurs, papier, textiles, ameublement, gaz fluorés, automobiles ...)

**Figure 218 : Bilan des tonnages entrant dans les ITOM en 2022 (source : ITOM 2024, ADEME)**




Les déchets non traités en ITOM sont par ailleurs traités dans des installations dédiées, notamment :

- Selon l'ADEME, 15,4 Mt ont été exportés vers l'étranger en 2021 (contre 12 Mt en 2020) après leur collecte (principalement vers l'Espagne (26 %), la Belgique (22 %) et l'Allemagne (12 %)) ;
- Environ 5,4 Mt de déchets dangereux (DD) sont traitée hors des ITOM. Selon le panorama de l'observatoire des déchets dangereux du SYPRED [737], les autres filières de traitement des déchets dangereux sont l'incinération en sites spécifiques, incinération in-situ, la co-incinération, le stockage après inertage, les traitements physico-chimiques et l'évapo-concentration, la décontamination, la régénération et la valorisation ;
- Environ 5 Mt de déchets non dangereux co-incinérés d'après le registre national des émissions polluantes (pour la production de chaux et de ciment notamment) [19].
- Environ 5,5 Mt de déchets sont triés et recyclés dans des centres de tri réservés aux Déchets Non Dangereux des Activités Economiques (DNDAE) (361 centres en 2022) ;
- Environ 2 Mt de boues de dragage sont immergées en mer ;
- Près de 2 Mt de déchets agricoles sont traités dans des centres de méthanisation dédiés aux déchets agricoles (à la ferme ou centralisés) ;
- Environ 1,2 Mt de véhicules hors d'usage et de pneumatiques font l'objet d'une filière REP[38] et sont collectés et recyclés sur des sites dédiés ;
- Environ 1 Mt de boues d'épuration sont traitée hors des ITOM. Ces boues sont soit méthanisées sur site, soit épandues, soit envoyées sur les centres de méthanisation centralisés (hors ITOM).

En France, les déchets (DMA et DAE hors inertes) sont donc éliminés au travers des filières de traitement suivantes :

[38] REP : à Responsabilité Elargie du Producteur

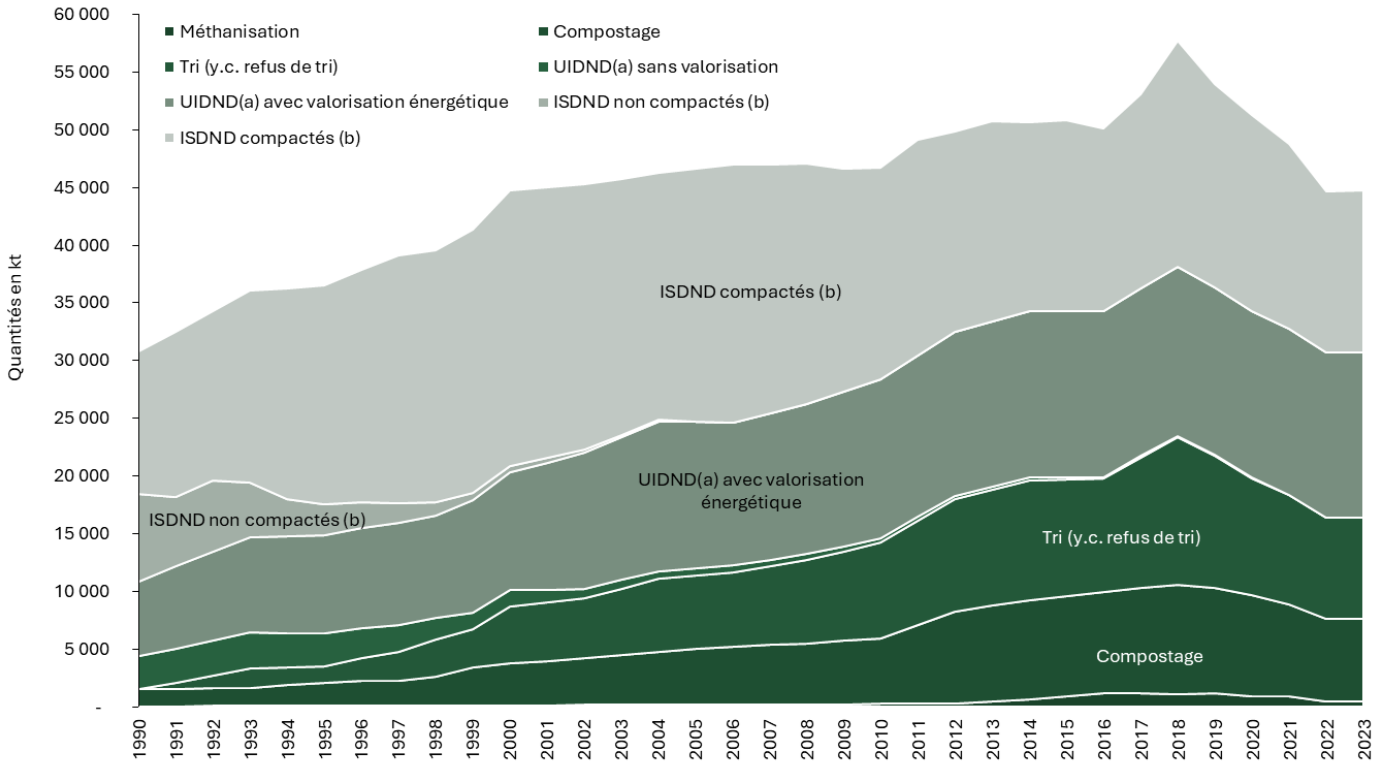
- **Le stockage en Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND)** ; les émissions liées du stockage des déchets non inertes non dangereux (ménagers et industriels) sont pris en compte dans l'inventaire (5A). Les boues stockées en ISDND sont prises en compte. Aucune émission n'est associée au stockage des déchets minéraux. Aucune émission n'est associée au stockage des déchets industriels dangereux car ils sont inertés avant stockage.
- **L'incinération** ; les émissions liées à l'incinération des déchets non dangereux, des déchets dangereux, des déchets de soins et des boues d'épuration sont prises en compte dans l'inventaire (5C1, 1A1a), que ce soit dans les ITOM, les sites spécifiques, les installations in-situ ou dans les installations de co-incinération.
- **Le brûlage** de déchets ; les émissions liées aux feux ouverts de déchets (déchets agricoles, feux de déchets verts) sont prises en compte dans l'inventaires (5C2) ainsi que les émissions liées aux feux de véhicules et de bâtiments.
- **Le compostage** ; les émissions liées au compostage des déchets non dangereux dans les ITOM sont prises en compte dans l'inventaire (5B1).
- **La méthanisation** ; les émissions liées à la méthanisation des déchets organiques dans les ITOM sont prises en compte dans l'inventaire (5B2), ainsi que celles liées à la méthanisation des boues dans les stations d'épuration urbaine (5D1) ou sur les sites industriels (5D2). Les émissions liées à la méthanisation des déchets agricoles à la ferme ou dans des installations centralisées sont également prises dans en compte dans l'inventaire (3B).
- **L'épandage** ; les émissions liées à l'épandage des boues d'épuration sont prises en compte dans l'inventaire (3D).
- **Le transit, le tri et le recyclage** ; aucune émission n'est associée à ces activités.

Dans le cadre de l'inventaire national d'émissions, l'ADEME intervient principalement en tant que fournisseur de données privilégié, au travers de la publication régulière des résultats des travaux et enquêtes qu'elle finance.

D'autres rapports d'études sectoriels (déchets hospitaliers, traitements biologiques etc.), techniques et économiques, sont exploités aussi bien pour définir les activités que certains facteurs d'émission de l'inventaire.

La part des déchets traités en ITOM par filière de traitement a évolué depuis 1990. La part du stockage a diminué et est passée d'environ 65% en 1990 à près de 3% en 2023. La part de l'incinération est restée relativement stable entre 30% et 25%, sur la période l'incinération sans récupération d'énergie disparaissant peu à peu au profit de l'incinération avec récupération d'énergie. En 2022, le parc d'incinérateurs des ordures ménagères couverts par l'enquête de l'ADEME faisait état de 117 sites équipés de dispositifs de récupération énergétique et seulement deux sites sans. La part des procédés biologiques, en particulier du compostage, augmente régulièrement et représente depuis 2020 près de 20% du total traité (contre 5% en 1990).

**Figure 219 : Evolution des quantités de déchets ménagers et assimilés traitées par filière de traitement en kt – périmètre UE**



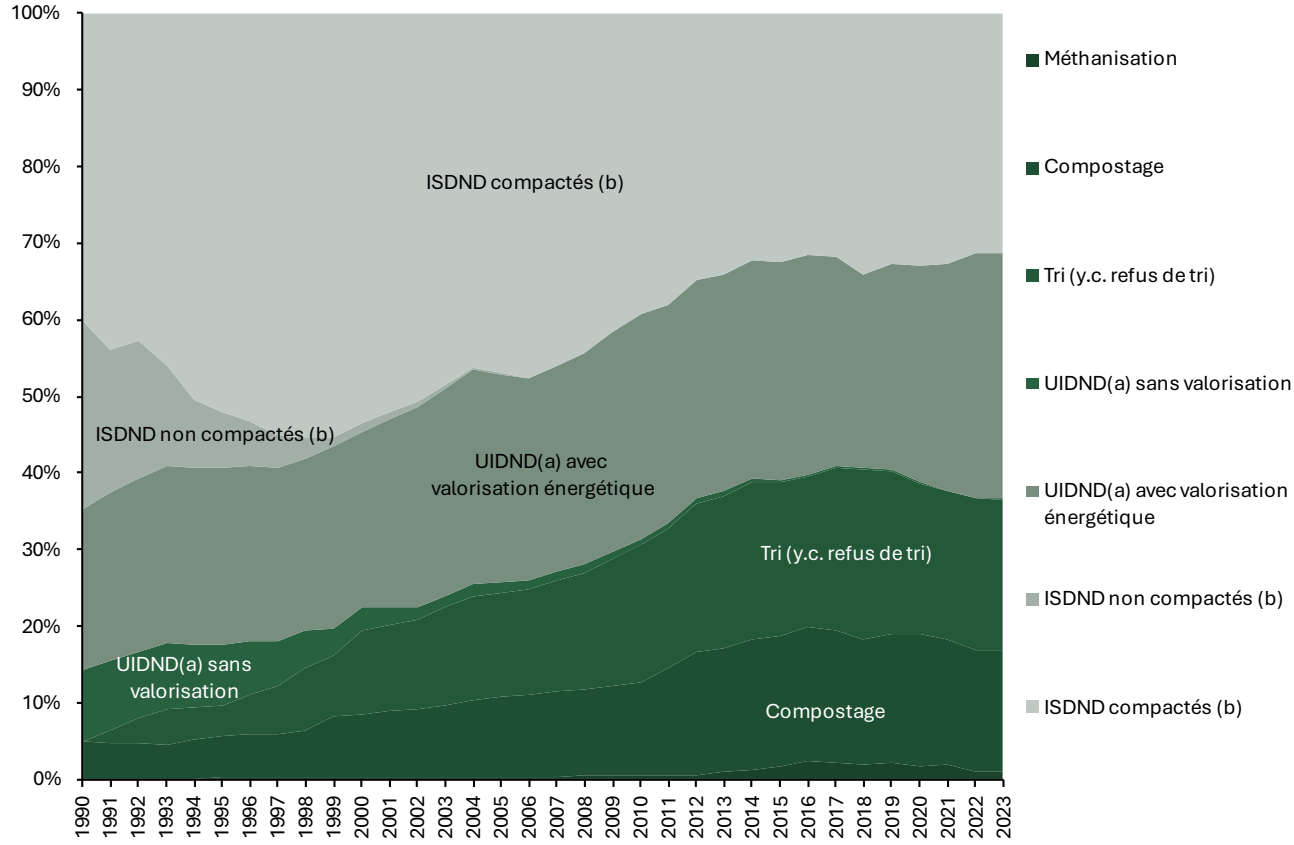

source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Graph_5.xlsx/DMA

(a) UIDND = Usine d'Incinération de Déchets Non Dangereux

(b) ISDND = Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux

**Figure 220 : Evolution de la quantité de déchets municipaux par filière de traitement centralisées (Périmètre France UE)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Graph_5.xlsx/DMA

*Eaux usées*

Les eaux domestiques et industrielles sont traitées au moyen de filières de traitement collectives ou individuelles ou, de façon marginale, sont rejetées sans traitement.

Les boues issues des filières de traitement des eaux usées sont traitées au travers des filières de traitement des déchets solides (stockage, incinération, procédés biologiques).

Le traitement des déchets contribue principalement aux émissions de $CH_4$ en France avec près de de 24% des émissions nationales hors UTCATF en 2023. Il participe également aux émissions de $CO_2$ et de $N_2O$ à hauteur de 0,5% et 9,7%, respectivement, en 2023. Il faut noter, conformément aux règles comptables de la CCNUCC, que les émissions des incinérateurs avec récupération d'énergie sont incluses dans la catégorie « ENERGIE » (CRT 1) et que les émissions de $CO_2$ d'origine biomasse sont hors total.

**Tableau 317 : Émissions de gaz à effet de serre des DECHETS (CRT 5)**

| DECHETS (périmètre France UE) | | | Secteurs-d.xlsx | |
|---|---|---|---|---|
| | 1990 | | 2023 | |
| Substances | Emissions en $CO_2$ eq (kt) | % du total national hors UTCATF | Emissions en $CO_2$ eq (kt) | % du total national hors UTCATF |
| $CO_2$ | 2 110 | 0.5% | 1 341 | 0.5% |
| $CH_4$ | 13 936 | 17.0% | 14 259 | 23.5% |
| $N_2O$ | 2 511 | 4.7% | 2 603 | 9.7% |
| HFC | 0 | 0% | 0 | 0% |
| PFC | 0 | 0% | 0 | 0% |
| $SF_6$ | 0 | 0% | 0 | 0% |
| $NF_3$ | 0 | 0% | 0 | 0% |
| $CO_2e$ | 18 557 | 3.4% | 18 202 | 4.8% |

source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

# 7.2 Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) (5A)

## 7.2.1 Caractéristiques de la catégorie

**Tableau 318 : Substances pour lesquelles le secteur 5A est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

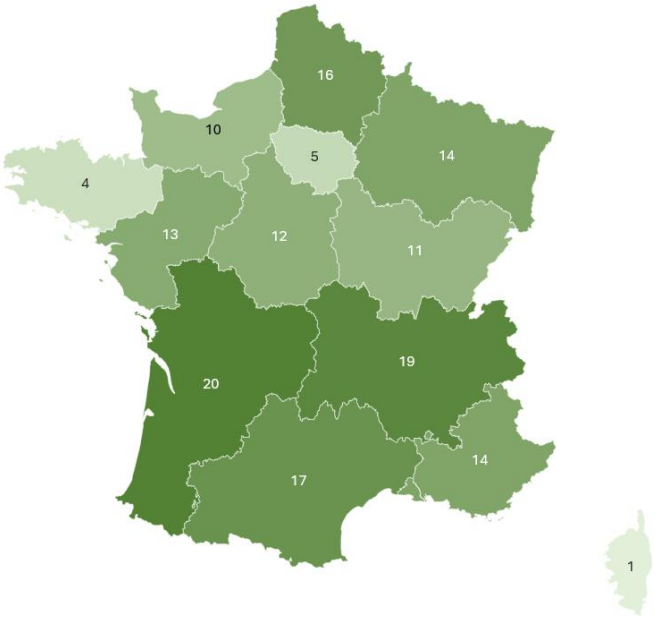
| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 5A | $CH_4$ | 5ème | 3,1% | 16ème | 1,5% |

Les ISDND sont utilisées pour le stockage des déchets non dangereux (déchets ménagers, déchets industriels banals, boues d'épuration, etc.). En métropole et dans les territoires d'outre-mer inclus dans l'UE, les ISDND sont de type « gérées compactées » et « gérées non compactées » (voir description ci-après). Dans les territoires d'outre-mer non inclus dans l'UE, des sites de stockage non gérés sont également considérés.

Au début des années 90, la France (métropole et territoires d'outre-mer inclus dans l'UE) comptait près de 500 ISDND de plus de 3 000 tonnes/an en exploitation, dont environ 315 de type compacté (recevant plus de 80% des déchets stockés) [516]. L'ADEME[39] comptabilisait, en 2022, 165 installations en exploitation, toutes de type compacté.

[39] ADEME : Agence De la Transition Ecologique (établissement public national sous la tutelle du ministère de l'environnement)

**Figure 221 : Parc français (en nombre) des installations de stockage de déchets non dangereux selon l'enquête ITOM en 2022**




Les sites de stockage gérés non-compactés ont peu à peu été fermés au profit des ISDND anaérobies, cependant les sites fermés continuent à émettre du fait de la cinétique de la réaction de dégradation de la matière organique.

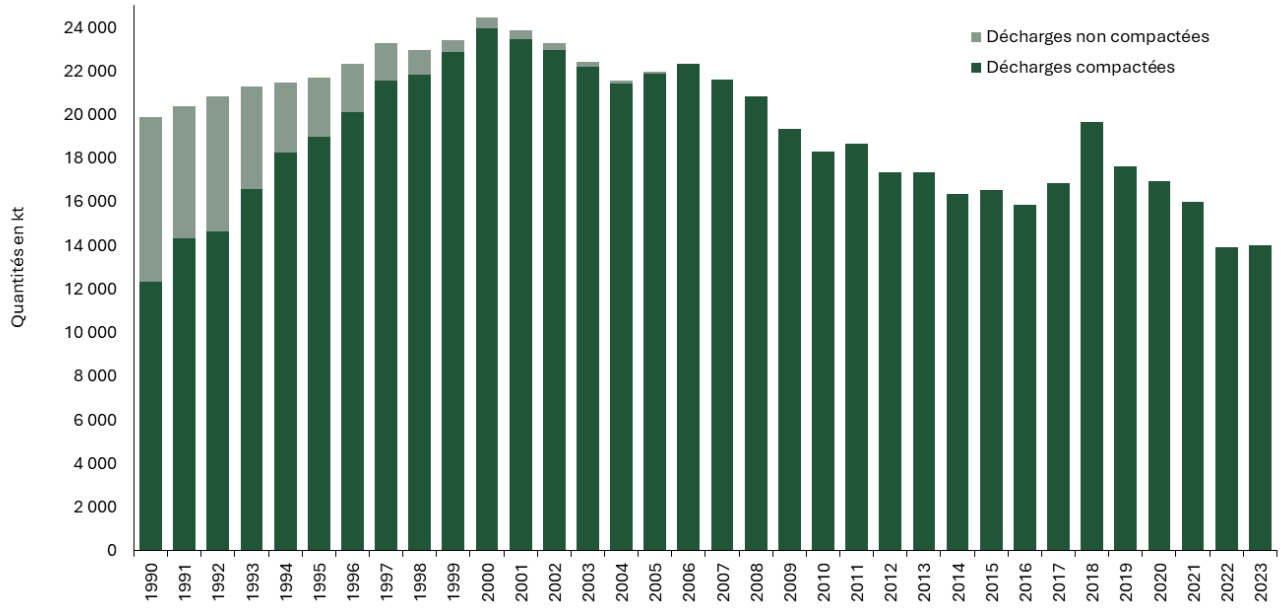
Les données sur les quantités de déchets non dangereux stockés sont disponibles au travers d'enquêtes menées a minima tous les deux ans par l'ADEME auprès des ISDND [32]. La dernière édition de cette enquête a été publiée en 2024 et traite des déchets ménagers traités en 2022. A partir de l'édition 2025, les quantités de déchets stockés en ISDND sont transmises par la DGPR et la DGFIP dans le cadre de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes [1351]. Ce changement intervient afin d'homogénéiser la source de données entre le Citepa qui réalise les inventaires et les services du ministère qui suivent les politiques publiques relatives au traitement des déchets. Les données transmises au Citepa dans ce cadre s'étalent sur la période courant de 2008 à 2023. Pour les années antérieures, les données issues des enquêtes de l'ADEME sont conservées. Toutefois, la composition des déchets est toujours estimée sur la base des enquêtes ITOM.

L'enquête ITOM et les données associées concernent les sites implantés en France métropolitaine ou dans les DROM/COM. Les données les plus anciennes disponibles auprès de l'ADEME datent de 1960 concernant les déchets ménagers et 1975 concernant les déchets assimilés (déchets d'activité des entreprises).

Les données nécessaires à l'inventaire national (essentiellement les quantités traitées par type de déchets pour chaque installation) sont maintenant obtenues sous forme de bases de données obtenues auprès de l'ADEME et de la DGPR.

Les résultats de l'enquête ITOM font, en outre, l'objet d'un rapport public tous les deux ans.

**Figure 222 : Evolution des quantités de déchets non dangereux stockés en ISDND en kt en France (périmètre UE)**




(a) ISDND = Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux
(*) DMA: Déchets ménagers et assimilés

source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Graph_5.xlsx/ISDND

*Type de gestion des ISDND*

En France, au cours du temps on peut distinguer trois principaux types de gestion des décharges : les décharges non contrôlées, les décharges contrôlées non compactées et les décharges contrôlées compactées.

**Les décharges non contrôlées (unmanaged SWDS)** :

Les décharges non contrôlées, aussi appelées « décharges brutes » ou « décharges sauvages » correspondent à un déversement de déchets sur le sol, dans une cavité, un ravin ou dans tout autre dépression de terrain. En France, c'était l'unique type de décharge jusqu'en 1935 (date d'ouverture de la première décharge dite « contrôlée »). En 1973, la circulaire du 22/02/1973 en a planifié la disparition progressive. On considère que l'apport de déchets dans ce type de décharges a définitivement cessé en 2005.

**Les décharges contrôlées (managed)** :

La décharge dite « contrôlée » est un mode de gestion introduit en France depuis l'Angleterre en 1935 pour limiter les multiples nuisances des décharges brutes. La gestion consistait à prendre quelques précautions élémentaires pour limiter les proliférations d'animaux (mouches, rats…) et de germes pathogènes. A l'origine, le but de ces pratiques de gestion était de favoriser la fermentation aérobie des déchets mais peu à peu les pratiques ont changé vers une gestion anaérobie en raison des pratiques de compaction des déchets. La circulaire de 1973 [949] spécifie alors 3 types de décharges contrôlées : la décharge contrôlée non compactée (avec l'introduction du terme « décharge traditionnelle »), la décharge contrôlée compactée et la décharge simplifiée (décharge temporaire non considérée ci-après).

- **La décharge contrôlée non compactée (ou « décharge traditionnelle »)**

Dans la circulaire du 14/04/1962, une décharge est dite « contrôlée » quand des « dispositions sont prises pour que son épaisseur, sa compacité et une couverture de terre permettent d'y réaliser de bonnes conditions pour une fermentation aérobie rapide des ordures » [949] car la fermentation aérobie permet d'éviter les germes pathogènes qui sont généralement anaérobiques. Après déversement des déchets, les couches sont très perméables à l'air. La fermentation aérobie se développe et, favorisée par l'aération et une humidité suffisante, la température augmente jusqu'à atteindre plus de 50°C. Les dispositions à prendre par les opérateurs pour assurer les conditions aérobies sont décrites dans la circulaire [949] :

- Les déchets sont déversés en couches successives de 1,5 à 2,5 mètres. Il est recommandé aux opérateurs d'assurer l'aération en agissant sur la hauteur des couches ;

- Une nouvelle couche n'est disposée que quand la température de la couche précédente est redescendue à celle du sol.

Des règles complémentaires doivent cependant être respectées pour éviter les animaux, les feux et les envols (fine couverture, concassage des bouteilles, écrasage des emballages, etc.).

➢ **La décharge contrôlée compactée**

Dans les années 70, une évolution des pratiques de gestion des décharges est introduite du fait de la combinaison de plusieurs aspects :

- les volumes de déchets générés et stockés augmentent considérablement du fait du développement des emballages ;
- les emplacements pour construire de nouvelles décharges sont de plus en plus difficiles à trouver (syndrome NIMBY) ;
- la composition des déchets évolue et la fraction de papiers, cartons, plastiques et encombrants augmente (déchets légers mais volumineux) ;
- de nouveaux équipements sont disponibles et en particulier les camions et les autres équipements roulants deviennent plus lourd et moins chers comparativement aux coûts humains.

En conséquence, il y a eu une nécessité croissante de réduire le volume des déchets stockés et l'utilisation de matériel de compactage est devenue rentable dans les grandes décharges.

Le tableau suivant récapitule l'historique des types d'installations de stockage en France.

| Type d'Installation de Stockage | | | 1934 | ... | 1968 | 1969 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Type de gestion | | Statut | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Contrôlé | Contrôlé - Compacté | En activité | | | 10 | 19 | 22 | 224 | 329 | 357 | 235 | 234 | 233 | 227 | 221 | 220 | 218 | 209 | 199 | 193 | 187 | 176 | 165 |
| | Contrôlé - Compacté | Post-exploitation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Contrôlé - Non compacté | En activité | 1 | -? | 9 | 12 | 15 | 197 | 156 | 42 | | | | | | | | | | | | | |
| | Contrôlé - Non compacté | Post-exploitation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Non contrôlé | Non contrôlé | En activité | >300 | >300 | >300 | >300 | >300 | ≈300 | ≈200 | ... | | | | | | | | | | | | | |
| | Non contrôlé | Post-exploitation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

## 7.2.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/donnees-air-climat/methodologie-de-linventaire-ominea/.

Les déchets mettent plusieurs années à se décomposer, essentiellement en $CH_4$ et $CO_2$, et en faible proportion d'autres polluants (COVNM, $H_2S$...).

Une loi cinétique d'ordre 1 est utilisée pour calculer les quantités de $CH_4$ et de $CO_2$ générées par le massif de déchets sur la base des quantités de chaque type de déchets stockés chacune des années précédentes, de leur composition et du mode d'exploitation des ISDND (niveau d'anaérobiose du massif, récupération du biogaz ou non).

***Emissions de $CO_2$***

Pour les ISDND, le $CO_2$ étant d'origine biogénique, il fait l'objet d'une comptabilisation particulière par rapport aux autres substances. Ces règles conduisent à ne pas prendre en compte dans le total de l'inventaire national les émissions de $CO_2$ des ISDND dans les formats de rapport CRT (catégorie 5A).

Les émissions de $CO_2$ biogéniques sont comptabilisées sur la base des quantités générées et des quantités de $CH_4$ non captées oxydées en $CO_2$ lors de la traversée de la couverture.

***Emissions de $CH_4$***

*Méthodologie :*

Les émissions nationales de méthane des Installations de Stockage des déchets Non Dangereux (ISDND) proviennent des installations de stockage de type géré compacté, des installations de stockage de type géré non compacté et des sites de stockage non gérés (dans le cas des territoires d'outre-mer non inclus dans l'UE uniquement).

$$E_{CH4} = E_{CH4\ contrôlé\ compacté} + E_{CH4\ contrôlé\ non\ compacté} + E_{CH4\ non\ contrôlé}$$

Les émissions de $CH_4$ sont estimées selon la méthodologie préconisée dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC.

L'outil mis à disposition par le GIEC (IPCC 2019 Waste Tool [731]) est utilisé pour faire les calculs de la cinétique d'ordre 1.

- les quantités totales stockées utilisées en entrée des feuilles de calcul sont issues des données statistiques nationales,
- les feuilles de calcul du GIEC [731] ont été démultipliées afin de répondre au besoin de rapportage de la CCNUCC :
  - chaque territoire dispose de ses propres feuilles de calcul (métropole, territoires d'outre-mer inclus dans l'UE, territoires d'outre-mer non inclus dans l'UE) avec un paramétrage adapté à la zone climatique,
  - chaque type de site dispose de ses propres feuilles de calcul (contrôlé compacté, contrôlé non compacté, non contrôlé).

Le calcul des émissions se fait donc au sein d'un « système de calcul » composé :

- de fichiers contenant les données d'entrée par territoire (quantités, composition)
- de sept feuilles de calculs (copies de l'IPCC 2019 Waste Tool [731]) correspondant aux usages suivants :
  - 1 dédiée aux ISDND contrôlées compactées de métropole
  - 1 dédiée aux ISDND contrôlées non compactées de métropole
  - 1 dédiée aux ISDND contrôlées compactées des territoires d'OM inclus dans l'UE
  - 1 dédiée aux ISDND contrôlées non compactées des territoires d'OM inclus dans l'UE
  - 1 dédiée aux ISDND contrôlées compactées des territoires d'OM non inclus dans l'UE
  - 1 dédiée aux ISDND contrôlées non compactées des territoires d'OM non inclus dans l'UE
  - 1 dédiée aux décharges non contrôlées des territoires d'OM non inclus dans l'UE
- D'un fichier de compilation et d'export vers la base de données d'inventaire nationale.

*Quantités traitées :*

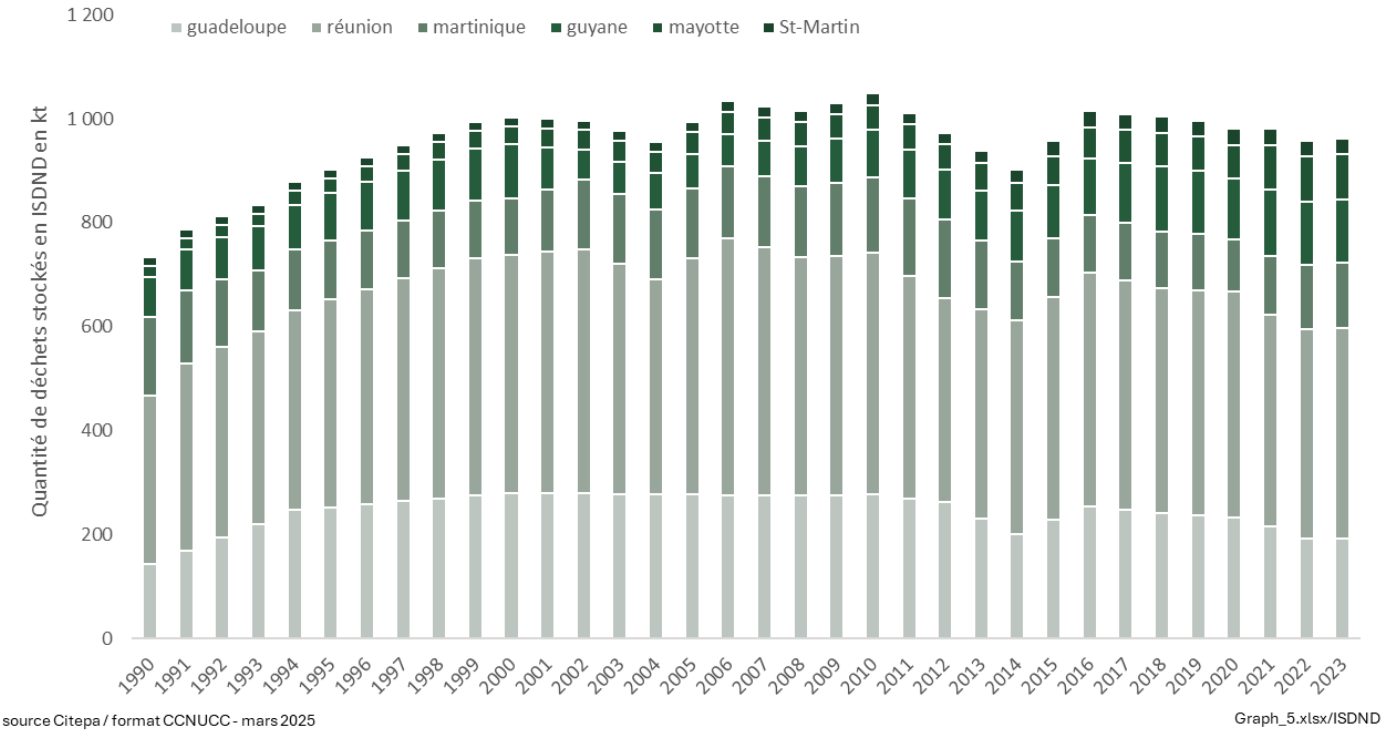
Les données sur les quantités de déchets non dangereux stockés sont disponibles au travers d'enquêtes menées a minima tous les deux ans par l'ADEME auprès des ISDND [32]. La dernière édition de cette enquête a été publiée en 2024 et traite des déchets ménagers traités en 2022.

A partir de l'édition 2025, les quantités de déchets stockés en ISDND sont transmises par la DGPR et la DGFIP dans le cadre de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes [1351]. Les données transmises au Citepa dans ce cadre s'étalent sur la période courant de 2008 à 2023. Pour les années antérieures, les données issues des enquêtes de l'ADEME sont conservées. Toutefois concernant la composition des déchets est toujours estimée sur la base des enquêtes ITOM.

Les données les plus anciennes disponibles auprès de l'ADEME datent de 1960 concernant les déchets ménagers et 1975 concernant les déchets assimilés (déchets d'activité des entreprises). Les quantités sont rétropolées jusqu'à 1950 pour un usage dans l'IPCC Waste Tool.

Tous les sites de stockage en service recevant des déchets municipaux sont pris en compte dans l'inventaire. Mais les données collectées concernent tous les déchets stockés quelle que soit leur origine (déchets ménagers ou industriels), leur nature (y compris les encombrants, les boues etc.) et leur type (dangereux, non dangereux).

**Figure 223 : Evolution des quantités de déchets non dangereux stockés en ISDND en kt dans les territoires ultramarins inclus dans l'UE**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Graph_5.xlsx/ISDND

*Composition des déchets :*

L'IPCC 2019 Waste Tool considère les catégories de déchets suivantes des lignes directrices 2006 du GIEC (Volume 5, Chapitre 2)[40] : déchets alimentaires, déchets de parcs et jardins, papier/carton, bois, textiles et textiles sanitaires, plastiques…

La composition des déchets mis en ISDND selon ces catégories nécessaires à l'IPCC 2019 Waste Tool est estimée sur la base :

- d'enquêtes de caractérisation des déchets ménagers (dites MODECOM [368]) réalisée pour les années 1993, 2007 et 2017,
- d'enquêtes de caractérisation des déchets industriels selon l'activité, la nature des déchets et le type de traitement [733],
- d'enquêtes bisannuelles caractérisant les déchets mis en ISDND réalisées par l'ADEME (dites ITOM [32]) depuis 1995.

Les enquêtes **ITOM de l'ADEME** permettent d'obtenir les quantités de déchets traitées dans les installations (dont les ISDND) par type de déchets selon une nomenclature en plusieurs dizaines de catégories. Pour information, l'extrait de tableau ci-dessous présente la correspondance entre la nomenclature ADEME de l'enquête ITOM concernant les boues.

[40] https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_2_Ch2_Waste_Data.pdf

| Déchet - Nomenclature ITOM | Regroupement 2 (cinetique ADEME) |
|---|---|
| 12.1 - Boues d'épuration des eaux usées<br>03F - Boues | Boues |
| 12.11 - Boues d'épuration des eaux usées collectives<br>03F - Boues | Boues |
| 12.4 - Matières de vidanges<br>03F - Boues | Boues |
| 03.2 - Boues industrielles<br>03A - Déchets dangereux | Boues |
| 12.12 - Boues ordinaires d'épuration des eaux usées<br>03F - Boues | Boues |
| 12.5 - Boues de curage des égouts<br>03F - Boues | Boues |
| 12 - Boues ordinaires<br>03F - Boues | Boues |
| 03.21 - Boues prov. des procédés industriels et du traitement des effluents<br>03A - Déchets dangereux | Boues |
| 12.2 - Boues de traitement d'eaux potables<br>03F - Boues | Boues |
| 12.121 - Digestat<br>03F - Boues | Boues |
| 13.6 - Terres et boues de dragage polluées<br>03A - Déchets dangereux | Boues |

Certaines catégories de déchets sont attribuables directement aux catégories du GIEC, c'est le cas des boues par exemple. La nomenclature des déchets de l'ADEME contient cependant deux catégories complexes : ordures ménagères résiduelles et déchets banals en mélange. Ces catégories complexes sont allouées aux catégories des déchets du GIEC sur la base respectivement des enquêtes de caractérisation des déchets ménagers de l'ADEME (MODECOM) et des enquêtes de caractérisation des déchets de l'industrie de l'INSEE. Les refus de traitement (dont de compostage) sont alloués de la même façon que les ordures ménagères.

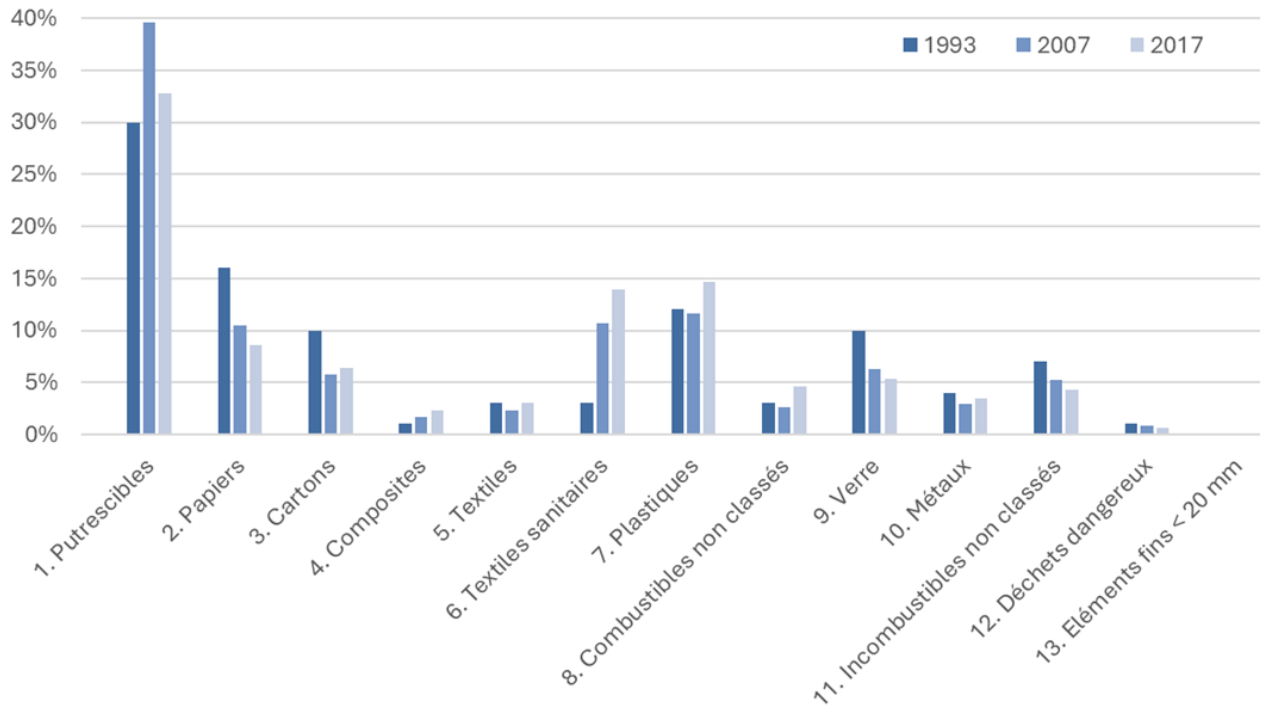
Les enquêtes **MODECOM de l'ADEME** permettent en particulier de caractériser les ordures ménagères résiduelles (OMR), aussi appelées « poubelle grise », c'est-à-dire les déchets des ménages en mélange ne faisant pas l'objet d'une collecte sélective. Ces déchets finissent en stockage ou en incinération.

Ces enquêtes successives présentent l'évolution de la production d'ordures ménagères entre 1993, 2007 et 2017.

**Tableau 319 : Composition des ordures ménagères entre 1993 et 2017** [41]

| | Ordures Ménagères Résiduelles (OMR) | | | | | | Gisement après intégration des collectes | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | OMR (sans ventilation des éléments fins) | | Intervalle de confiance | OMR (avec ventilation des éléments fins) | | | OMR et collectes sélectives (avec ventilation) | |
| Catégories | 1993 | 2007 | | 1993 | 2007 | 2017 | 1993 | 2007 |
| 1. Putrescibles | 20% | 30.9% | 3.8% | 30% | 39.6% | 32.8% | 29% | 32.2% |
| 2. Papiers | 16% | 10.3% | 1.1% | 16% | 10.5% | 8.6% | 16% | 14.6% |
| 3. Cartons | 10% | 5.7% | 0.5% | 10% | 5.7% | 6.4% | 9% | 6.9% |
| 4. Composites | 1% | 1.7% | 0.3% | 1% | 1.7% | 2.3% | 1% | 1.7% |
| 5. Textiles | 3% | 2.3% | 0.5% | 3% | 2.3% | 3.0% | 3% | 1.9% |
| 6. Textiles sanitaires | 3% | 10.5% | 1.1% | 3% | 10.6% | 13.9% | 3% | 8.7% |
| 7. Plastiques | 11% | 11.4% | 0.6% | 12% | 11.7% | 14.7% | 11% | 11.2% |
| 8. Combustibles non classés | 3% | 2.4% | 0.5% | 3% | 2.6% | 4.6% | 3% | 2.1% |
| 9. Verre | 7% | 5.8% | 0.7% | 10% | 6.3% | 5.3% | 13% | 12.5% |
| 10. Métaux | 4% | 2.9% | 0.3% | 4% | 3.0% | 3.4% | 4% | 3.0% |
| 11. Incombustibles non classés | 2% | 2.6% | 0.6% | 7% | 5.3% | 4.3% | 7% | 4.3% |
| 12. Déchets dangereux | 1% | 0.8% | 0.3% | 1% | 0.8% | 0.6% | 1% | 0.7% |
| 13. Eléments fins < 20 mm | 19% | 12.7% | 0.9% | 0% | 0.0% | 0.0% | 0% | 0.3% |
| TOTAL | 100% | 100% | | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

**Figure 224 : OMR. Composition en pourcentage massique (après ventilation des éléments fins) : comparaison entre 1993 et 2017**




Dans cette enquête les déchets sont caractérisés en 12 catégories dont certaines sont attribuables directement aux catégories du GIEC. Les autres catégories sont allouées aux catégories GIEC de la façon suivante : les composites sont alloués à la catégorie « Papier/carton »

[41] Eléments fins : Fractions des éléments inférieurs à 20 mm obtenues lors du tri des échantillons (fractions 8 – 20 mm et fines < 8 mm). Ces éléments sont ensuite ventilés dans les autres catégories existantes. Pour plus de détails, se référer à l'enquête MODECOM.
OMR sans ventilation : Composition des déchets en incluant les éléments fins comme une catégorie à part entière.
OMR avec ventilation : Composition des déchets avec répartition des éléments fins au sein des autres catégories de déchets.

du GIEC, les combustibles Non Classifiés (combustibles NC), qui correspondent au bois, cuir et caoutchouc sont alloués à la catégorie « Bois » du GIEC et les incombustibles Non Classifiés (incombustibles NC) correspondent à des matériaux inertes (pots en argile, grès, pierres, poteries, céramiques, faïence, coquilles, etc.).

Ci-dessous, sont proposées les matrices de passages entre les catégories ADEME et celles proposées par le GIEC pour toutes les années où l'enquête MODECOM est disponible.

**Tableau 320 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 1993**

| | | | GIEC | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MODECOM 1993 | | Food | Garden | Paper | Wood | Textile | Nappies | Rubber and Leather | Plastics, other inert | Sludge | Hazardous waste | Construction and demolition |
| ADEME | Déchets fortement évolutifs | Déchets verts | | 100.0% | | | | | | | | | |
| | | OM | 25.4% | 4.6% | 27.0% | 3.0% | 3.0% | 3.0% | | 34.0% | | | |
| | | Boues | | | | | | | | | 100.0% | | |
| | | Déchets organiques | | 100.0% | | | | | | | | | |
| | Déchets moyennement évolutifs | DIB | | | 24.0% | 46.8% | 0.5% | | 1.1% | 27.5% | | | |
| | | DMA | 25.4% | 4.6% | 27.0% | 3.0% | 3.0% | 3.0% | | 34.0% | | | |
| | | Compost | | 100.0% | | | | | | | | | |
| | | Résidus de traitement | 25.4% | 4.6% | 27.0% | 3.0% | 3.0% | 3.0% | | 34.0% | | | |
| | Déchets non évolutifs | Equipement hors d'usage | | | | | | | | 100.0% | | | |
| | | Déblais-gravats | | | | | | | | | | | 100.0% |
| | | Matériaux recyclables | | | | | | | | 100.0% | | | |
| | | DS/Déchets dangereux | | | | | | | | | | 100.0% | |
| | | Machefers | | | | | | | | 100.0% | | | |

**Tableau 321 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 2007**

| | | | GIEC | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MODECOM 2007 | | Food | Garden | Paper | Wood | Textile | Nappies | Rubber and Leather | Plastics, other inert | Sludge | Hazardous waste | Construction and demolition |
| ADEME | Déchets fortement évolutifs | Déchets verts | | 100.0% | | | | | | | | | |
| | | OM | 33.6% | 6.0% | 17.9% | 2.6% | 2.3% | 10.6% | | 27.0% | | | |
| | | Boues | | | | | | | | | 100.0% | | |
| | | Déchets organiques | | 100.0% | | | | | | | | | |
| | Déchets moyennement évolutifs | DIB | | | 12.6% | 10.8% | 1.9% | | 13.1% | 61.6% | | | |
| | | DMA | 33.6% | 6.0% | 17.9% | 2.6% | 2.3% | 10.6% | | 27.0% | | | |
| | | Compost | | 100.0% | | | | | | | | | |
| | | Résidus de traitement | 33.6% | 6.0% | 17.9% | 2.6% | 2.3% | 10.6% | | 27.0% | | | |
| | Déchets non évolutifs | Equipement hors d'usage | | | | | | | | 100.0% | | | |
| | | Déblais-gravats | | | | | | | | | | | 100.0% |
| | | Matériaux recyclables | | | | | | | | 100.0% | | | |
| | | DS/Déchets dangereux | | | | | | | | | | 100.0% | |
| | | Machefers | | | | | | | | 100.0% | | | |

**Tableau 322 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 2017**

| | | | GIEC | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MODECOM 2007 | | Food | Garden | Paper | Wood | Textile | Nappies | Rubber and Leather | Plastics, other inert | Sludge | Hazardous waste | Construction and demolition |
| ADEME | Déchets fortement évolutifs | Déchets verts | | 100.0% | | | | | | | | | |
| | | OM | 33.6% | 6.0% | 17.9% | 2.6% | 2.3% | 10.6% | | 27.0% | | | |
| | | Boues | | | | | | | | | 100.0% | | |
| | | Déchets organiques | | 100.0% | | | | | | | | | |
| | Déchets moyennement évolutifs | DIB | | | 12.6% | 10.8% | 1.9% | | 13.1% | 61.6% | | | |
| | | DMA | 33.6% | 6.0% | 17.9% | 2.6% | 2.3% | 10.6% | | 27.0% | | | |
| | | Compost | | 100.0% | | | | | | | | | |
| | | Résidus de traitement | 33.6% | 6.0% | 17.9% | 2.6% | 2.3% | 10.6% | | 27.0% | | | |
| | Déchets non évolutifs | Equipement hors d'usage | | | | | | | | 100.0% | | | |
| | | Déblais-gravats | | | | | | | | | | | 100.0% |
| | | Matériaux recyclables | | | | | | | | 100.0% | | | |
| | | DS/Déchets dangereux | | | | | | | | | | 100.0% | |
| | | Machefers | | | | | | | | 100.0% | | | |

Les enquêtes de **production de déchets de l'industrie de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE)**, réalisées tous les deux à quatre ans, **permettent** d'obtenir la répartition de la composition des déchets banals triés de l'industrie manufacturière par type de traitement (dont le stockage) selon des catégories directement allouables aux catégories du GIEC : métaux, verre, plastiques, papier/cartons, textiles caoutchouc et bois.

Collecte sélective : Collecte de certains flux de déchets (recyclables, secs et fermentescibles), préalablement séparés par les producteurs, en vue d'une valorisation ou d'un traitement spécifique. La collecte sélective s'applique autant aux déchets ménagers qu'aux déchets industriels.

Les inventaires des installations de traitement des déchets (dont les installations de stockage) ont un long historique (le premier datant de 1975) et ont été réalisés d'abord par l'Association Technique pour l'eau et l'Environnement (ASTEE, anciennement Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux AGHTM) puis par l'ADEME à partir de 1995. Les enquêtes permettent de collecter des données sur la quantité de déchets et, dans le cas **des enquêtes ITOM de l'ADEME**, sur le type de déchets stockés. Dans les premières enquêtes la composition des déchets correspondait à une quinzaine de catégories : déchets verts, ordures ménagères, boues et déchets organiques, déchets industriels banals, résidus de traitement/déchets secondaires (tels que les refus de compostage), déchets dangereux, déblais/gravats, mâchefers, matériaux recyclables équipement hors d'usage et autres. Depuis 2006, la collecte des données se fait selon une nomenclature plus détaillée comportant plus de 120 catégories, dont près de 40 sont présentes dans les installations de stockage. Mais des parts importantes des déchets sont incluses dans les catégories « ordures ménagères résiduelles » (environ 30%) et « déchets industriels banals en mélange » (plus de 25%). Ces catégories sont respectivement allouées aux catégories GIEC selon les résultats de l'enquête MODECOM et de l'enquête de l'INSEE.

En outre, deux catégories supplémentaires de déchets peuvent être considérées dans l'IPCC Waste Tool : les boues d'assainissement et les déchets industriels. Les émissions liées au stockage des boues d'assainissement en ISDND, non explicitement considérées dans les lignes directrices 2006 du GIEC (Volume 5, Chapitre 2), sont donc estimées séparément dans l'inventaire national. La catégorie « déchets industriels » de l'outil IPCC 2019 Waste Tool est utilisée pour prendre en compte les déchets de construction et de démolition et les déchets dangereux stockés en ISDND.

Cependant, on note que les catégories de déchets considérées dans l'IPCC 2019 Waste Tool ne couvrent pas l'intégralité des catégories des lignes directrices 2006 du GIEC (Volume 5, Chapitre 2). En particulier, la catégorie « caoutchouc et cuir » n'est pas considérée dans l'outil. Les quantités de « caoutchouc et cuir » ont été attribuées à la catégorie « bois » qui présente une teneur en Carbone Organique Dégradable (DOC) similaire.

Les catégories de déchets considérées dans l'inventaire national sont donc les suivantes :

- Déchets alimentaires (via la composition des déchets stockés),
- Déchets verts (via la composition des déchets stockés),
- Papier/carton (via la composition des déchets stockés),
- Bois (via la composition des déchets stockés),
- Textiles (via la composition des déchets stockés),
- Textiles sanitaires (via la composition des déchets stockés),
- Boues d'assainissement (via la catégorie dédiée),
- Déchets de construction et de démolition (via la catégorie « déchets industriels ») et déchets dangereux.

**Tableau 323 : Composition des déchets stockés en installation de stockage recevant des déchets ménagers (y.c. déchets industriels, hors boues) en Métropole**

| Année | Déchets alimentaires (%) | Déchets verts (%) | Papier/carton * (%) | Bois (%) | Textile (%) | Textile sanitaire (%) | Plastiques et autres | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Total | *dont combustibles* |
| 1950 | 16.3% | 3.8% | 27.5% | 16.3% | 2.3% | 0.9% | 32.8% | *8.1%* |
| 1960 | 16.3% | 3.8% | 27.5% | 16.3% | 2.3% | 0.9% | 32.8% | *8.1%* |
| 1970 | 16.3% | 3.8% | 27.5% | 16.3% | 2.3% | 0.9% | 32.8% | *8.1%* |
| 1980 | 16.3% | 3.8% | 27.5% | 16.3% | 2.3% | 0.9% | 32.8% | *8.1%* |
| 1990 | 16.3% | 3.8% | 27.5% | 16.3% | 2.3% | 0.9% | 32.8% | *8.1%* |
| 1995 | 18.3% | 4.2% | 25.3% | 16.2% | 2.2% | 2.8% | 31.1% | *8.0%* |
| 2000 | 17.7% | 7.6% | 21.4% | 12.2% | 1.9% | 4.1% | 35.2% | *11.7%* |
| 2005 | 17.6% | 3.6% | 20.1% | 8.1% | 1.7% | 5.2% | 43.7% | *18.0%* |
| 2010 | 16.8% | 3.8% | 16.3% | 3.9% | 2.8% | 6.2% | 50.3% | *22.0%* |
| 2011 | 15.9% | 3.6% | 15.5% | 4.0% | 3.1% | 6.1% | 51.8% | *24.2%* |
| 2012 | 15.0% | 3.3% | 14.7% | 4.1% | 3.4% | 6.1% | 53.4% | *26.5%* |
| 2013 | 14.6% | 3.4% | 15.0% | 4.5% | 3.1% | 6.3% | 53.2% | *24.8%* |
| 2014 | 14.3% | 3.5% | 15.2% | 4.9% | 2.7% | 6.4% | 53.0% | *22.9%* |
| 2015 | 13.6% | 3.3% | 16.2% | 5.6% | 2.6% | 6.5% | 52.2% | *21.4%* |
| 2016 | 13.0% | 3.2% | 17.1% | 6.3% | 2.4% | 6.5% | 51.4% | *19.9%* |
| 2017 | 14.2% | 3.6% | 16.3% | 5.8% | 2.4% | 7.4% | 50.2% | *18.0%* |
| 2018 | 15.4% | 3.9% | 15.6% | 5.3% | 2.4% | 7.9% | 49.5% | *16.3%* |
| 2019 | 16.3% | 4.1% | 15.8% | 5.3% | 2.5% | 8.2% | 47.8% | *16.1%* |
| 2020 | 17.3% | 4.5% | 16.1% | 5.3% | 2.6% | 8.6% | 45.7% | *15.8%* |
| 2021 | 16.2% | 4.2% | 16.6% | 5.6% | 2.6% | 7.9% | 46.9% | *17.5%* |
| 2022 | 14.9% | 4.0% | 17.1% | 6.0% | 2.6% | 7.1% | 48.2% | *19.4%* |
| 2023 | 14.8% | 3.9% | 17.1% | 6.0% | 2.7% | 6.9% | 48.5% | *19.4%* |

** et cuirs et caoutchoucs*

*Zone climatique :*

Pour la métropole, la zone climatique « tempérée humide » a été retenue.

Pour tous les territoires d'OM, la zone climatique « tropicale humide » a été retenue car elle correspond à la situation des territoires les plus peuplés (St Pierre et Miquelon, seul territoire situé en dehors d'une zone tropicale humide, ne représente que 0,2% de la population d'Outre-Mer).

*Constantes de vitesse (k) et demi-vie ($t_{1/2}$) :*

La valeur de demi-vie, $t_{1/2}$, est le temps que prend le DOC, dans le déchet, pour se réduire à la moitié de sa masse initiale. Dans le modèle DPO et dans les équations figurant dans ce Volume, la constante de réaction k est utilisée. La relation entre k et $t_{1/2}$ est : $k = \ln(2)/t_{1/2}$.

Les constantes de vitesse proposées par défaut par les lignes directrices 2006 du GIEC (et reprises dans l'IPCC 2019 Waste Tool) pour les zones climatiques sélectionnées ont été appliquées, excepté pour la catégorie « déchets industriels ».

Pour les « déchets industriels » les constantes proposées par défaut par l'IPCC 2019 Waste Tool ont été modifiées pour correspondre à celles proposées dans les lignes directrices 2006 pour les déchets de démolition et de construction.

*Carbone Organique dégradable (DOC) :*

Le carbone organique dégradable est le carbone organique qui se trouve dans les déchets et qui se prête à la décomposition biochimique. Les valeurs du carbone organique dégradable proposées pour chaque catégorie de déchets dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC [732] sont appliquées.

A noter que la fraction des déchets rejetée par les plateformes de compost correspond à des déchets après compostage. Les déchets rapidement dégradables sont éliminés lors du compostage, c'est pourquoi ce type de déchets est classé comme modérément dégradable.

*Fraction décomposée du DOC ($DOC_f$) :*

La fraction de carbone organique dégradable qui se décompose ($DOC_f$) est une estimation de la fraction de carbone qui est réellement dégradée dans les SWDS et reflète le fait qu'une part de carbone organique dégradable ne se dégrade pas ou se dégrade très lentement, en conditions anaérobies dans la décharge. La fraction de carbone organique dégradable se décomposant ($DOC_f$) est variable en fonction du type de déchets :

- 0,1 pour les déchets peu évolutifs (wood)
- 0,5 pour les déchets moyennement évolutifs (paper, textiles, nappies),
- 0,7 pour les déchets fortement évolutifs (food, garden, sludge, MSW).

Ces fractions sont issues du raffinement de 2019 des Lignes Directrices du GIEC.

*Facteurs de correction du méthane (MCF) :*

Les pratiques de stockage des déchets varient selon qu'il s'agit du contrôle, du placement des déchets et de la gestion des décharges. Le coefficient de correction $CH_4$ (MCF) permet de prendre en considération ces différences et doit donc être interprété comme un coefficient de correction de la gestion des déchets qui reflète la dimension de gestion à laquelle il correspond.

Les facteurs de correction du méthane (MCF) proposés par défaut dans le raffinement de 2019 des lignes directrices 2006 [607] ont été attribués aux trois types d'installation de stockage existant en France.

Les ISDND contrôlées compactées correspondent aux décharges anaérobies (MCF = 1) définies dans le raffinement de 2019 des Lignes Directrices 2006 du GIEC.

Du fait de pratiques visant à favoriser les conditions aérobies, les décharges contrôlées non compactées sont attribuées à la catégorie des décharges semi-aérobie (MCF = 0,5) du raffinement 2019 des Lignes Directrices 2006 du GIEC.

Les décharges non contrôlées d'Outre-mer sont considérées avec un MCF de 0,4. Les décharges non contrôlées existaient historiquement en Métropole. Cependant, ne pouvant pas les distinguer des décharges contrôlées non compactées, elles sont considérées dans une même catégorie.

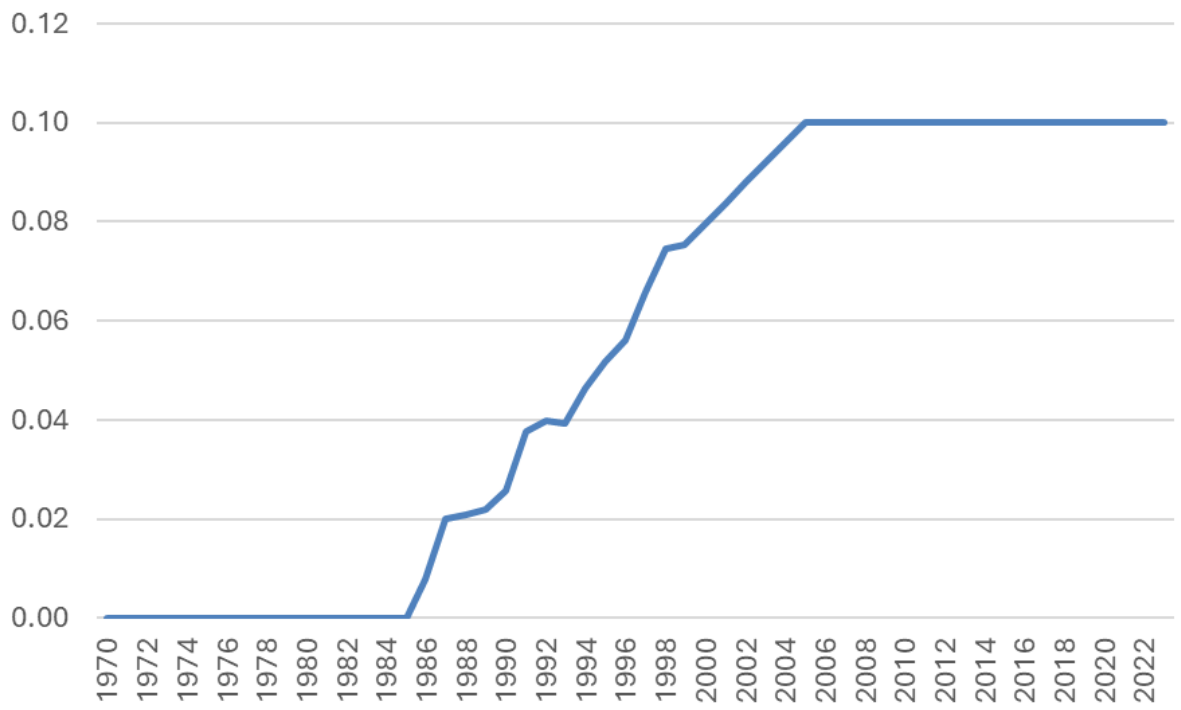
*Facteur d'oxydation (Ox)*

Le facteur d'oxydation (Ox) de 0,1 recommandé par défaut dans le raffinement de 2019 des Lignes Directrices 2006 du GIEC pour les décharges anaérobies est appliqué pour les ISDND contrôlées compactées, qu'elles soient encore en activité ou non.

Concernant les installations de stockage contrôlées non compactées et les décharges non gérées, le facteur d'oxydation national dépend de la part des sites encore en activité, correspondant à l'usage de la valeur 0 pour les sites en activité et 0,1 pour les sites en post-exploitation.

**Tableau 324 : Historique du facteur d'oxydation des sites contrôlés non compactés**

| French Uncategorised Landfills ("Controlled Not Compacted" and "Not controlled") | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Année | MCF | Ox | Année | MCF | Ox | Année | MCF | Ox |
| 1970 | 0.600 | 0.000 | 1986 | 0.631 | 0.008 | 2002 | 0.951 | 0.088 |
| 1971 | 0.600 | 0.000 | 1987 | 0.680 | 0.020 | 2003 | 0.967 | 0.092 |
| 1972 | 0.600 | 0.000 | 1988 | 0.683 | 0.021 | 2004 | 0.984 | 0.096 |
| 1973 | 0.600 | 0.000 | 1989 | 0.688 | 0.022 | 2005 | 1.000 | 0.100 |
| 1974 | 0.600 | 0.000 | 1990 | 0.703 | 0.026 | 2006 | 1.000 | 0.100 |
| 1975 | 0.600 | 0.000 | 1991 | 0.750 | 0.038 | 2007 | 1.000 | 0.100 |
| 1976 | 0.600 | 0.000 | 1992 | 0.759 | 0.040 | 2008 | 1.000 | 0.100 |
| 1977 | 0.600 | 0.000 | 1993 | 0.757 | 0.039 | 2009 | 1.000 | 0.100 |
| 1978 | 0.600 | 0.000 | 1994 | 0.785 | 0.046 | 2010 | 1.000 | 0.100 |
| 1979 | 0.600 | 0.000 | 1995 | 0.807 | 0.052 | 2011 | 1.000 | 0.100 |
| 1980 | 0.600 | 0.000 | 1996 | 0.824 | 0.056 | 2012 | 1.000 | 0.100 |
| 1981 | 0.600 | 0.000 | 1997 | 0.864 | 0.066 | 2013 | 1.000 | 0.100 |
| 1982 | 0.600 | 0.000 | 1998 | 0.898 | 0.075 | 2014 | 1.000 | 0.100 |
| 1983 | 0.600 | 0.000 | 1999 | 0.901 | 0.075 | 2015 | 1.000 | 0.100 |
| 1984 | 0.600 | 0.000 | 2000 | 0.918 | 0.079 | 2016 | 1.000 | 0.100 |
| 1985 | 0.600 | 0.000 | 2001 | 0.934 | 0.084 | 2017 - 2023 | 1.000 | 0.100 |




Pour les décharges non gérées présentes dans les territoires d'OM non inclus dans l'UE, un facteur d'oxydation de 0 est retenu.

*Fraction de $CH_4$ dans le biogaz généré (F)*

La fraction de $CH_4$ dans le biogaz généré (F) de 0,5 recommandée par défaut dans le raffinement 2019 des Lignes Directrices 2006 du GIEC est appliquée pour tous les territoires.

*$CH_4$ capté :*

Le biogaz capté est, soit torché, soit valorisé, soit mis sur le réseau de gaz naturel.

A des fins de rapportage transparent des émissions nationales de GES dans le cadre de la CCNUCC, la France a été amenée à mettre en place un système pérenne de collecte de l'information relative aux ISDND. En 2013, l'interface du registre déclaratif français (GEREP) [19] (destiné en premier usage au rapportage E-PRTR) a été adaptée et permet notamment aux exploitants d'ISDND de déclarer les quantités de $CH_4$ torché et/ou valorisé sur leur site.

Les responsables des sites de stockage doivent renseigner sur la plateforme :

- la quantité de biogaz capté sur l'année N (informations renseignées en $Nm^3$ et basées sur de la mesure en continu ou de la mesure périodique),
- la teneur en $CH_4$ du biogaz capté sur l'année N (informations renseignées en % massique et basées sur de la mesure en continu ou de la mesure périodique),
- la nature de l'utilisation du biogaz capté (torchage ou valorisation),
- l'appareil de combustion associé,
- le PCI du biogaz.

Les quantités de $CH_4$ mis sur le réseau de transport et/ou distribution de gaz naturel (après concentration et épuration du biogaz) sont également à déclarer dans le registre par les exploitants d'ISDND. Les quantités annuelles de $CH_4$ capté dans les ISDND depuis 2012 sont donc estimées selon une approche bottom-up basée sur des quantités mesurées conformément aux exigences des Lignes Directrices 2006 du GIEC.

Les quantités de $CH_4$ torché et/ou valorisé sur leur site peuvent être renseignées par le biais d'une méthode calculatoire ou par mesures. Pour donner suite à la revue CCNUCC de septembre 2021, une enquête a été réalisée auprès des sites ayant déclaré une méthode par calcul pour les quantités de $CH_4$ torché et/ou valorisé. Dans les faits, pour la totalité des sites contactés, il s'agissait de déclarations fondées sur des mesures (calcul de moyennes de mesures) et la méthode « par mesure » aurait dû être mentionnée au lieu de la méthode « par calcul ».

Dans la continuité du dialogue initié avec les sites de stockage, une enquête a été réalisée en 2022 (et poursuivie en 2023 et 2024) afin de consolider les données (valorisation et torchage du gaz) issues de la plateforme de déclaration GEREP sur la période 2012–2023. Cette enquête a été réalisée en collaboration avec les syndicats représentants de la filière, la Fnade et AMORCE et a permis de consolider les données issues de sites de stockage de divers groupes représentant de l'activité du stockage : Nicollin, Paprec, Séché, Suez ou Véolia.

Au total près de 120 sites ont répondu (pour l'année 2021) à cette enquête permettant de consolider les données d'inventaires relatives aux quantités de gaz de décharge torché ou valorisé entre 2012 et 2023. Un nombre moins conséquent de sites a répondu pour le début de la série (entre 30 et 40 en 2012).

Les données relatives à la période 2008-2011 ont été obtenues au travers d'un questionnaire aux exploitants.

Les quantités torchées et valorisées ont été rétropolées sur la période 1990-2008 sur la base de données relatives à la part des déchets stockés dans des installations équipées d'un système de captage et de système de combustion du biogaz [19, 32, 515].

***Emissions de $N_2O$***

Il n'y a pas d'émission attendue de cette substance.

## 7.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au $2^{ème}$ niveau de la catégorie (i.e. 5A).

Les incertitudes estimées pour le secteur 5A sont les suivantes pour 2022 :

- L'incertitude sur les quantités stockées est estimée à 15%.
- L'incertitude sur la composition des déchets est estimée à 30% dans la mesure où, bien qu'une catégorisation soit disponible dans l'enquête, elle ne correspond pas directement aux catégories de la méthodologie GIEC et des études complémentaires périodiques doivent être utilisées en complément.

- L'incertitude sur le facteur d'émission du $CH_4$ est estimée à 175%. En effet, les émissions de ce secteur obéissent à des lois cinétiques complexes. De plus, les émissions s'étalent dans le temps, rendant nécessaire une estimation des quantités stockées depuis de nombreuses années, ce qui ne permet pas d'obtenir une grande précision.

La cohérence temporelle est respectée, la méthodologie utilisée est appliquée à l'ensemble de la période et les sources statistiques de données et leur traitement sont les mêmes sur l'ensemble de la série temporelle.

## 7.2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Les statistiques recueillies entrent dans le champ de l'assurance qualité de l'organisme émetteur. Le Citepa effectue également des vérifications internes sur la cohérence des séries temporelles.

La nouvelle méthodologie basée sur les lignes directrices 2006 du GIEC est soumise, à partir de 2016, à un groupe de réflexion regroupant des experts d'horizons variés (institutions, entreprises, recherche). Le but est de renforcer la qualité des données d'entrée, d'identifier des valeurs nationales là ou des valeurs par défaut sont utilisées, de confronter l'inventaire à d'autres méthodologies (en particulier celles basées sur la mesure).

Un contrôle sur le bouclage des quantités traitées prises en compte dans chacun des fichiers de calcul a été ajouté.

A partir de 2022, un contrôle plus approfondi des quantités de biogaz capté a été mis en place par le Citepa, notamment à travers la prise de contact des sites de stockage pour lesquels un doute concernant la méthode de déclaration subsiste.

## 7.2.5 Recalculs

**Impacts des recalculs du CRT 5A**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 12 457 | 15 063 | 16 376 | 16 799 | 15 952 | 14 889 | 14 538 | 12 900 | 11 952 | 11 186 | 11 276 | 11 393 | 11 116 | 11 720 | 11 732 | 11 035 | 11 384 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 12 457 | 15 066 | 16 384 | 16 812 | 16 004 | 14 879 | 14 522 | 12 756 | 11 738 | 10 889 | 10 960 | 11 026 | 10 744 | 11 666 | 11 668 | 11 142 | 11 462 | 11 667 |
| Différence | kt CO2e | +0.32 | +2.8 | +8.5 | +12 | +53 | -10 | -17 | -143 | -214 | -296 | -317 | -367 | -372 | -53 | -64 | +107 | +78 | +11 667 |
| | % | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | -0% | -0% | -1% | -2% | -3% | -3% | -3% | -3% | -0% | -0.54% | +1% | +1% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /5.A

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

Le recalcul sur la période 1990 – 2021 s'explique par des modifications à la marge de deux éléments.

La source de données concernant les quantités de déchets stockés entre 2008 et 2023 a été modifiée. En effet jusqu'à l'édition 2024 de l'inventaire, ces données étaient transmises par l'ADEME dans le cadre de l'enquête ITOM réalisée tous les deux ans. A partir de l'édition 2025, les quantités de déchets stockés en ISDND sont transmises par la DGPR et la DGFIP dans le cadre de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes. Ce changement de source de données conduit à une modification à la hausse ou à la baisse de quelques pourcents entre 2008 et 2022.

Dans une moindre mesure, l'enquête initiée en 2022 par la France relative à la quantité de $CH_4$ captée par les ISDND a été poursuivie et induit une légère modification des quantités torchées (à la baisse) et des quantités valorisées (à la hausse) sur la période 2012-2023.

**Raison et justification**

Amélioration de l'exactitude

## 7.2.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2022, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| Sector / CRF category / issue | Review recommendation | Review report/ paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| **Waste**<br>5.A.1 Managed waste disposal sites – CH4 (W.15, 2021) Transparency | *The Party reported in its NIR (p. 682) their procedure to quantify methane recovery.*<br>*The ERT noted that Eurostat data on energy generation from landfill gas might be used to validate the reported amount of gas used for energy recovery from the CRF-tables. A first comparison of both resulted a fair agreement : see Table: CH4 energy recovery from CRF-Tables, compared to Eurostat.*<br>Report in the NIR on the results of a comparison of CH4 for energy recovery estimates reported in the CRF table 5.A and Eurostat data (or data from another independent source) as a verification procedure, including any consequent improvement measures that may be necessary to ensure the accuracy of the inventory.<br>Not resolved. The Party did not report in its NIR any results of a comparison of CH4 estimates for energy recovery reported in CRF table 5.A and Eurostat data or any improvement measures that may be necessary to ensure the accuracy of the inventory. The Party reported in its NIR (p.736) that it will initiate discussions with the services of the relevant ministry in order to undertake the comparison. During the review, the Party confirmed that the information provided in the NIR is correct. The ERT considers that the recommendation has not been implemented. | 2022 Review ARR / W.6 | Not implemented.<br>For now, France did not initiate discussions with the services of the relevant ministry in order to undertake the comparison. |

## 7.2.7 Améliorations envisagées

L'amélioration de la prise en compte des quantités de biogaz valorisées et/ou torchées a été initiée en 2022 et poursuivie en 2023 et 2024. Il est prévu de continuer de dialoguer avec les sites de stockage afin de consolider les résultats.

L'amélioration du calcul des incertitudes est planifiée à long terme par la mise en œuvre d'une méthodologie Tier 2 (approche Monte Carlo).

# 7.3 Traitement biologique (5B)

## 7.3.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette section se rapporte aux installations de **compostage** de déchets ménagers et aux installations de **méthanisation** de déchets ménagers.

**Tableau 325 : Substances pour lesquelles le secteur 5B est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau Rang | Contribution (%) | Evolution Rang | Contribution (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 5B | $CH_4$ | - | - | 55ème | 0,3% |

### 1.1.1.32 Production de compost (5B1)

Le compostage consiste en un traitement biologique de matières organiques fermentescibles en milieu aérobie (en présence d'oxygène). La matière organique brute est décomposée et mise en tas (cette décomposition peut être naturelle ou contrôlée). Ensuite, les micro-organismes entament le processus de décomposition qui peut être divisé en deux phases : la phase active et la phase de durcissement.

Pendant la phase active, la température augmente rapidement en raison du métabolisme des micro-organismes. Cette augmentation hygiénise le matériau en tuant les pathogènes et les graines de mauvaises herbes, et en décomposant les composés phytotoxiques. La phase active dure plusieurs semaines.

Une fois que toutes les matières facilement dégradables ou digestibles ont été consommées, l'activité des thermophiles diminue et la phase de maturation commence. La décomposition des matières organiques se poursuit en substances humiques. Il n'y a pas de temps clairement défini pour la maturation (cela dépend de la matière première, de la méthode de compostage et de la gestion).

Le compostage est terminé lorsque les matières premières ne se décomposent plus activement et sont biologiquement et chimiquement stables.

Les principaux déchets traités par compostage sont les déchets verts (tontes de pelouses, feuilles...) parfois en mélange avec des boues d'épuration urbaines ou industrielles, les déchets agro-alimentaires, déchets de cuisine, effluents d'élevage (fientes, fumiers...), ainsi que la fraction fermentescible des déchets ménagers.

Le compostage permet de produire un compost pouvant servir d'amendement organique ou de matière fertilisante.

Le compostage de déchets ménagers peut être pratiqué à l'échelle industrielle (compostage industriel) ou des ménages (compostage domestique). A l'échelle industrielle, la fraction organique des déchets ménagers peut être mélangée à des déchets verts (de parcs et jardins), de déchets organiques industriels (ex : industrie agroalimentaire), de boues d'épuration (en fonction des réglementations). Le compostage domestique se fait essentiellement sur la fraction organique des déchets ménagers (déchets de cuisines), mélangés à des déchets verts (tontes de pelouses, feuilles).

### 1.1.1.33 Production de biogaz (5B2)

La méthanisation consiste en un traitement de matières organiques en milieu anaérobie (en l'absence d'oxygène). Tous les déchets organiques peuvent être traités par méthanisation, à l'exception des déchets ligneux (déchets de bois). Les principaux déchets traités sont les **effluents industriels** et les **boues d'épuration** urbaines ou industrielles, la fraction fermentescible des **déchets ménagers**, les déchets agricoles.

La méthanisation de matières organiques permet de produire du biogaz (55 à 60% $CH_4$) et du digestat (comportant une fraction solide et une fraction liquide) pouvant servir de matière fertilisante ou d'amendement.

## 7.3.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/donnees-air-climat/methodologie-de-linventaire-ominea/.

*Activité*

Les quantités de déchets traitées par compostage et méthanisation en métropole et dans les territoires d'OM inclus dans l'UE sont disponibles dans les enquêtes bisannuelles ITOM de l'ADEME[1] [32]. Les valeurs des années non disponibles sont interpolées. Concernant la méthanisation, les données des enquêtes ITOM ont été substituées par les données déclarées par les sites, sur la plateforme de déclaration GEREP, entre 2017 et 2022. Ces dernières ayant été considérées plus justes.

Les quantités entrantes correspondent à plusieurs catégories de déchets :

- déchets verts et organiques,
- ordures ménagères en mélange,
- biodéchets,
- boues et autres.

Une partie des flux entrants dans les installations de traitement biologique est susceptible d'être refusée et n'est pas intégrée aux quantités traitées.

Les émissions associées au compostage domestique ne sont estimées que pour le territoire métropolitain, faute de données disponibles pour les territoires ultramarins.

**Tableau 326 : Quantité de déchets compostés entre France (Gg)**

| Catégorie | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 |
|---|---|---|---|---|
| Unité | Gg | Gg | Gg | Gg |
| Compostage industriel (Métropole) | 1 462 | 3 666 | 5 589 | 8 618 |
| Compostage industriel (Outre-mer inclus dans l'UE) | 8,3 | 20,7 | 109,4 | 164,8 |
| Compostage domestique (Métropole) | 1 670 | 1 893 | 2 355 | 3 319 |

**Tableau 327 : Quantité de déchets méthanisés entre France (Gg)**

| Catégorie | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 |
|---|---|---|---|---|
| Unité | Gg | Gg | Gg | Gg |
| Déchets méthanisés (Métropole) | 33 | 90 | 251 | 915 |
| Déchets méthanisés (Outre-mer inclus dans l'UE) | 0 | 0 | 3,1 | 3,8 |

*Emissions*

***Emissions de $CO_2$***

Le $CO_2$ étant d'origine biogénique, il fait l'objet d'une comptabilisation particulière par rapport aux autres substances. Ces règles conduisent à ne pas prendre en compte dans le total de l'inventaire national les émissions de $CO_2$ issues des traitements biologiques dans les formats de rapport CRT (catégorie 5B).

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions de $CH_4$ relatives au compostage et à la méthanisation des déchets sont estimées sur la base de l'équation par défaut proposée dans les Lignes directrices 2006 du GIEC :

$$Emissions\ de\ CH_4 = \sum_{i,j}(Mi,j * EFi,j) * 10^{-3} - R$$

Où :

Émissions de $CH_4$ = émissions totales de $CH_4$ au cours de l'année d'inventaire, Gg $CH_4$

$M_{i,j}$ = masse de déchets organiques traités par le type de traitement biologique i, Gg

FE = facteur d'émission pour le traitement i, g $CH_4$/kg de déchets traités

i = compostage ou méthanisation

j = catégorie de déchets traités

R = quantité totale de $CH_4$ récupérée au cours de l'année d'inventaire, Gg $CH_4$

Concernant le compostage industriel, les facteurs d'émission de chaque catégorie de déchets (déchets verts et organiques, ordures ménagères en mélange, biodéchets, boues et autres) du compostage domestique et du compostage industriel sont issus d'une note du WG1 « GHG emissions from biological treatment of waste - overview of existing measurements » (Hans Oonk, C. Lambert, I. Cakars, M. Havranek) de 2017 [954] sur les émissions atmosphériques des installations de traitements biologiques et concernant les pays européens.

De plus, les facteurs d'émission sont estimés en fonction du mode d'aération utilisé (fermé vs à l'air libre). Pour le compostage industriel, la répartition du mode d'aération utilisé provient de l'étude ADEME « Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts » [1111] et de l'enquête ITOM [32] de l'année 2022 (relative à l'année 2020). Ces deux études fournissent des informations sur la répartition entre compostage fermé ou à l'air libre pour 2006 et 2020. Pour les années inconnues, la répartition est estimée par interpolation linéaire entre 2006 et 2020 et considérée constante pour les années avant 2006 et après 2020.

Ces facteurs d'émission par type de déchets sont considérés identiques pour les territoires métropolitain et ultramarins. Toutefois, la composition des déchets compostés est différente pour chacun des territoires. Les facteurs d'émission sont ainsi estimés en fonction des quantités compostées de chaque catégorie pour chaque territoire et évoluent sur la période d'inventaire en conséquence.

**Tableau 328 : Facteurs d'émission du méthane (g $CH_4$/t) du compostage industriel**

| Catégorie | Déchets verts | Ordures ménagères | Biodéchets | Boues et autres |
|---|---|---|---|---|
| Unité | g $CH_4$/t | g $CH_4$/t | g $CH_4$/t | g $CH_4$/t |
| Sites aérés (ouverts et fermés) | 2 500 | 2 500 | 2 500 | 2 500 |
| Sites non aérés (ouverts) | 4 300 | 2 700 | 2 700 | 2 700 |
| FE moyen | 3 414 | 2 602 | 2 602 | 2 602 |

Pour l'année 2023, il est considéré la répartition suivante : 46,5% de sites aérés et 53,5% de sites non aérés. Ainsi pour cette même année, les facteurs d'émission considérés pour chacune de ces catégories sont :

- Déchets verts : 3 536,56 g $CH_4$/t
- Ordures ménagères : 2 615,17 g $CH_4$/t
- Biodéchets : 2 615,17 g $CH_4$/t
- Boues et autres : 2 615,17 g $CH_4$/t

La composition pour cette même année étant la suivante :

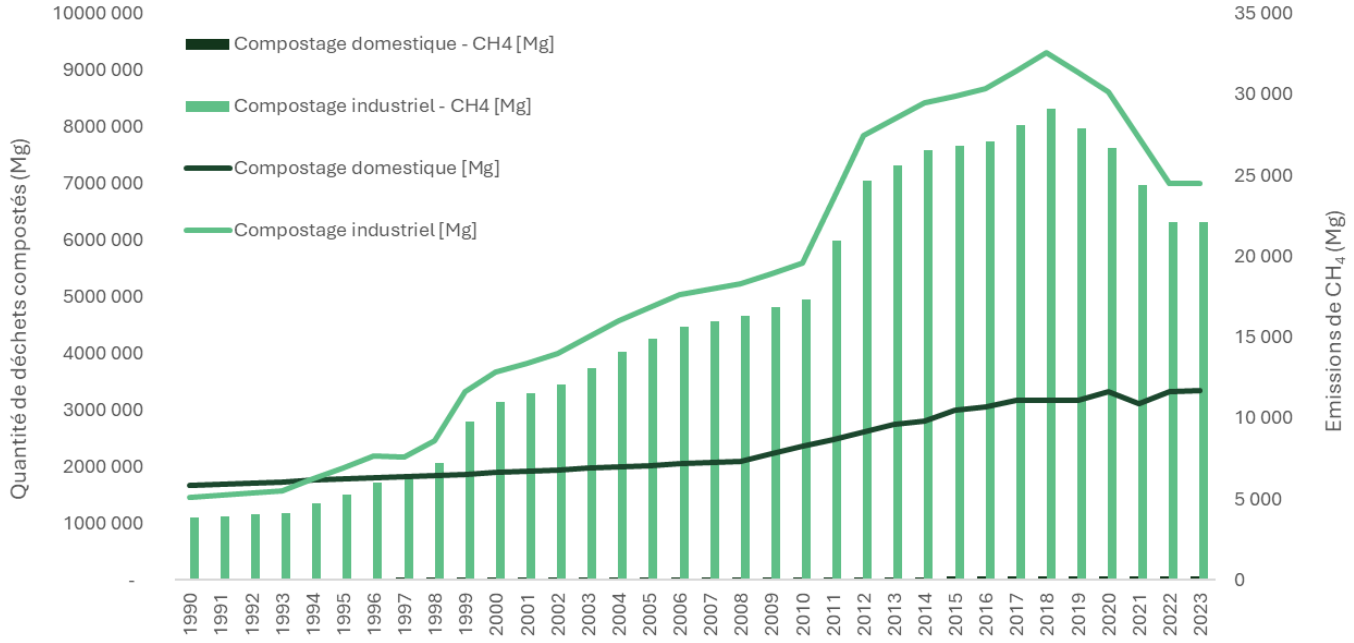
- Déchets verts : 58,8 %
- Ordures ménagères : 6,4 %
- Biodéchets : 5,7 %
- Boues et autres : 29,07 %

Pour le compostage domestique, une étude de l'ADEME intitulée « Impact sanitaire et environnemental du compostage domestique » est considérée [1218]. Les émissions associées au compostage domestique ne sont estimées que pour le territoire métropolitain.

**Tableau 329 : Facteurs d'émission du méthane (g $CH_4$/t) du compostage domestique**

| Catégorie | Déchets verts | Déchets de cuisine |
|---|---|---|
| Unité | g $CH_4$/t | g $CH_4$/t |
| FE moyen | 73 | 26 |

**Figure 225 : Quantités de déchets compostés (Mg) et émissions de $CH_4$ associées (Mg)**




Les émissions de $CH_4$ issues de la dégradation anaérobie des déchets sont estimées sur la base des facteurs d'émission par défaut dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC [359].

**Tableau 330 : Facteurs d'émission du méthane (g $CH_4$/t) de la méthanisation**

| Catégorie | Facteurs d'émission de $CH_4$ (g $CH_4$/kg de déchets traités) | |
|---|---|---|
| | Sur une base de poids sec | Sur une base de poids humide |
| Digestion anaérobie dans les installations de biogaz | 2 | 0,8 |

Le facteur d'émission moyen (toutes catégories de déchets confondues) du compostage et de la méthanisation évolue du fait des quantités respectives de chaque catégorie de déchets entrants dans les installations de traitement.

Enfin pour le compostage et pour la méthanisation des déchets, le taux d'humidité est considéré variable selon la catégorie de déchets considérés.

**Tableau 331 : Taux d'humidité moyen (%) par type de déchets**

| % | Déchets verts | Ordures ménagères | Biodéchets | Boues et autres |
|---|---|---|---|---|
| Taux d'humidité | 60,0 | 36,9 | 63,3 | 70 |

***Emissions de $N_2O$***

La production de compost émet du $N_2O$. Ces émissions sont estimées sur la base de l'équation par défaut proposée dans les Lignes directrices 2006 du GIEC :

$$Emissions\ de\ N_2O = \sum_{i,j} (Mi,j * EFi,j) * 10^{-3}$$

Où :

Émissions de $N_2O$ = émissions totales de $N_2O$ au cours de l'année d'inventaire, Gg $N_2O$

Mi,j = masse de déchets organiques traités par le type de traitement biologique i, Gg

FE = facteur d'émission pour le traitement i, g $N_2O$/kg de déchets traités

i = compostage ou méthanisation

j = catégorie de déchets traités

Les facteurs d'émission de chaque catégorie de déchets (déchets verts et organiques, ordures ménagères en mélange, biodéchets, boues et autres) du compostage domestique et du compostage industriel sont issus d'une note du WG1 « GHG emissions from biological treatment of waste - overview of existing measurements » (Hans Oonk, C. Lambert, I. Cakars, M. Havranek) de 2017 [954] sur les émissions atmosphériques des installations de traitements biologiques.

De plus, les facteurs d'émission sont estimés en fonction du mode d'aération utilisé (fermé vs à l'air libre). Pour le compostage industriel, la répartition du mode d'aération utilisé provient de l'étude ADEME du 8 mars 2007 « Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts » [1111] et de l'enquête ITOM [32] de l'année 2022 (relative à l'année 2020). Ces deux études fournissent des informations sur la répartition entre compostage fermé ou à l'air libre pour 2006 et 2020. Pour les années inconnues, la répartition est estimée par interpolation linéaire entre 2006 et 2020 et considérée constante pour les années avant 2006 et après 2020.

Ces facteurs d'émission par type de déchets sont considérés identiques pour les territoires métropolitain et ultramarins. Toutefois, la composition des déchets compostés est différente pour chacun des territoires. Les facteurs d'émission sont ainsi estimés en fonction des quantités compostées de chaque catégorie pour chaque territoire et évoluent sur la période d'inventaire en conséquence.

**Tableau 332 : Facteurs d'émission du protoxyde d'azote (g $N_2O$/t) du compostage industriel**

| Catégorie | Déchets verts | Ordures ménagères | Biodéchets | Boues et autres |
|---|---|---|---|---|
| Unité | g $N_2O$/t | g $N_2O$/t | g $N_2O$/t | g $N_2O$/t |
| Sites aérés (ouverts et fermés) | 77 | 77 | 77 | 77 |
| Sites non aérés (ouverts) | 31 | 79 | 79 | 79 |
| FE moyen | 54 | 78 | 78 | 78 |

Pour l'année 2022, il est considéré la répartition suivante : 46,5% de sites aérés et 53,5% de sites non aérés. Ainsi pour cette même année, les facteurs d'émission considérés pour chacune de ces catégories sont :

- Déchets verts : 50,51 g $N_2O$/t
- Ordures ménagères : 78,15 g $N_2O$/t
- Biodéchets : 78,15 g $N_2O$/t
- Boues et autres : 78,15 g $N_2O$/t

La composition pour cette même année étant la suivante :

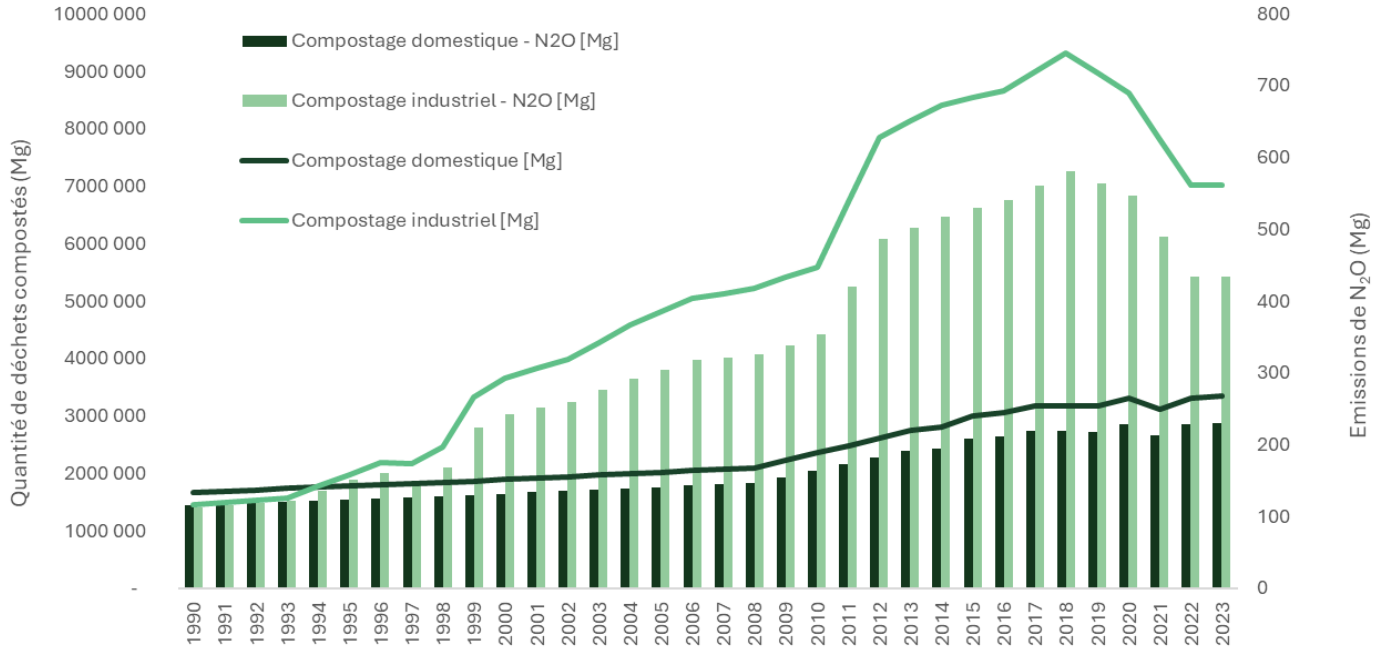
- Déchets verts : 58,8 %
- Ordures ménagères : 6,4 %
- Biodéchets : 5,7 %
- Boues et autres : 29,07 %

Pour le compostage domestique, une étude de l'ADEME intitulée « Impact sanitaire et environnemental du compostage domestique » est considérée [1218]. Les émissions associées au compostage domestique ne sont estimées que pour le territoire métropolitain.

**Tableau 333 : Facteurs d'émission du protoxyde d'azote (g $N_2O$/t) du compostage domestique**

| Catégorie | Déchets verts | Déchets de cuisine |
|---|---|---|
| Unité | g $N_2O$/t | g $N_2O$/t |
| FE moyen | 74 | 35 |

**Figure 226 : Quantités de déchets compostés (Mg) et émissions de $N_2O$ associées (Mg)**




## 7.3.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

Concernant la cohérence temporelle des séries, la même méthodologie est utilisée sur l'ensemble de la période ; les données manquantes certaines années sont estimées à partir des années connues (interpolation linéaire).

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 5B).

Les incertitudes estimées pour le secteur 5B sont les suivantes :

- L'incertitude sur les quantités totales compostées ou méthanisées est estimée à 15%. En effet, bien que les données rapportées dans l'enquête ITOM par les opérateurs soient issues de mesures (pesées des camions), les données relatives à 2021 sont basées sur les données 2020 provisoires.
- L'incertitude sur les facteurs d'émission est estimée à 100% pour le $CH_4$ et 100% pour le $N_2O$.

## 7.3.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

**Production de compost (5B1)**

Les facteurs d'émission nationaux du compostage industriel sont dans la fourchette de ceux proposés dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC (30 à 8 000 g de $CH_4$/ tonne de déchets compostés et 60 à 600 g $N_2O$ / tonne).

**Méthanisation (5B2)**

Le facteur d'émission national déduit est dans la fourchette de ceux proposés dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC (0 à 8 000 g de $CH_4$/ tonne de déchets méthanisés).

## 7.3.5 Recalculs

**Impacts des recalculs du CRT 5B**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 173 | 227 | 415 | 547 | 645 | 769 | 893 | 933 | 972 | 993 | 1 011 | 1 048 | 1 080 | 1 036 | 989 | 984 | 989 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 173 | 227 | 415 | 547 | 645 | 769 | 893 | 933 | 972 | 993 | 1 011 | 1 048 | 1 080 | 1 042 | 1 000 | 920 | 832 | 832 |
| Différence | kt CO2e | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.0005 | -0.0007 | -0.0010 | -0.0012 | -0.0011 | -0.0010 | -0.0009 | -0.0008 | -0.0006 | +5.7 | +11 | -64 | -157 | +832 |
| | % | 0% | 0% | 0% | 0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | +1% | +1.12% | -7% | -16% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /5.B

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

Modification à la marge des quantités et de la composition des déchets compostés en métropole sur des sites industriels entre 2020 et 2022 (relative à l'utilisation de données consolidées de l'ADEME). Idem pour les territoires ultra marins.

Concernant le compostage domestique, les données de population ont été mises à jour à la marge, entrainant une très légère évolution sur la période 2020 – 2022. En parallèle, la prise en compte du baromètre environnement de l'ADEME édition 2023 et de la dernière estimation du nombre de maisons principales (INSEE) ont été considérés. Ces éléments influent à la marge sur les émissions de l'année 2022.

Concernant les émissions liées à la méthanisation, les données issues des déclarations GEREP pour les années 2021 et 2022 ont été revues à la suite de la publication de la dernière édition de l'enquête ITOM de l'ADEME.

**Raisons et justifications**

Amélioration de l'exactitude et de la cohérence temporelle.

## 7.3.6 Améliorations envisagées

Cas du compostage :

Sur la base de nouvelle informations collectées dans l'enquête ITOM, l'usage de biofiltres dans les installations de compostage en bâtiments fermés sera pris en compte à court ou moyen terme dans l'estimation des émissions de GES.

Cas de la méthanisation :

Aucune amélioration méthodologique n'est prévue à court terme.

# 7.4 Incinération des déchets (5C)

Cette section se rapporte aux installations d'incinération de déchets et aux feux ouverts de déchets.

**Tableau 334 : Substances pour lesquelles le secteur 5C est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau Rang | Contribution (%) | Evolution Rang | Contribution (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 5C | $CO_2$ | 40ème | 0,4% | - | - |

*Incinération*

Les déchets incinérés peuvent être issus des ménages, de l'activité économique et des collectivités.

Ces déchets peuvent être de diverses natures :

- ordures ménagères résiduelles,
- déchets banals en mélange,
- boues d'assainissement,
- résidus de traitement,
- déchets dangereux.

En France, on peut distinguer plusieurs catégories d'incinérateurs en fonction des déchets traités :

- unités d'incinération de déchets non dangereux (UIDND ou UIOM),
- unités d'incinération de déchets dangereux (UIDD).

Certains incinérateurs vont traiter des déchets de diverses natures, alors que d'autres sont exclusivement dédiés à une catégorie de déchets (par exemple aux boues d'assainissement, aux déchets hospitaliers ou aux déchets dangereux).

Ces incinérateurs peuvent être sur des sites industriels exclusivement dédiées à l'incinération, sur les sites de production des déchets incinérés (dits « in-situ ») ou encore sur des sites mixtes de traitement des déchets.

On distingue des incinérateurs avec récupération d'énergie et des incinérateurs sans récupération d'énergie.

La co-incinération de déchets (par exemple en cimenteries) est également pratiquée en France.

En complément, la France dispose de crématoriums dédiés à l'incinération des corps.

*Feux ouverts*

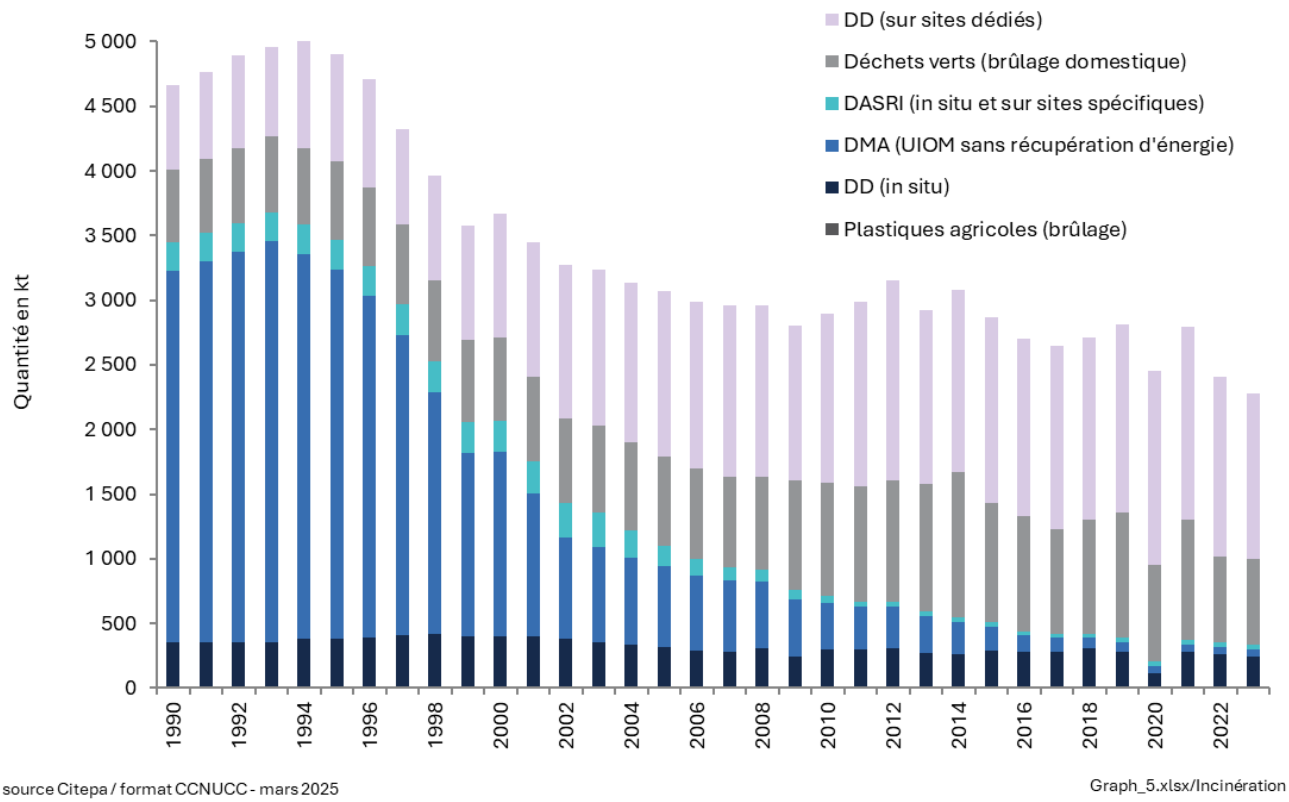
Bien que ce soient des activités illicites, plusieurs types de feux sont pratiqués en France et pris en compte dans l'inventaire national :

- feux de plastiques agricoles,
- feux de déchets verts domestiques,
- brûlage de câbles électriques.

En complément, les feux de véhicules sont également considérés dans l'inventaire national.

La figure ci-dessous illustre l'évolution des quantités de déchets incinérés selon leur type ainsi que leur contribution aux émissions exprimées en $CO_2$ équivalent de la catégorie 5C.

**Figure 227 : Evolution des quantités cumulées de déchets incinérés et brûlés selon leur type (en kt) – (Périmètre UE)**




*Particularité du rapportage de l'incinération :*

Seules les émissions liées à l'incinération de déchets sans récupération d'énergie sont à rapporter dans la catégorie « 5C – incinération des déchets ».

Les émissions associées aux installations de production d'énergie à des fins de distribution sont rapportées dans la catégorie « 1A – Production d'énergie ».

Les émissions associées à l'incinération de déchets avec production d'énergie dans l'industrie (cimenteries etc.) sont rapportées dans le secteur industriel correspondant.

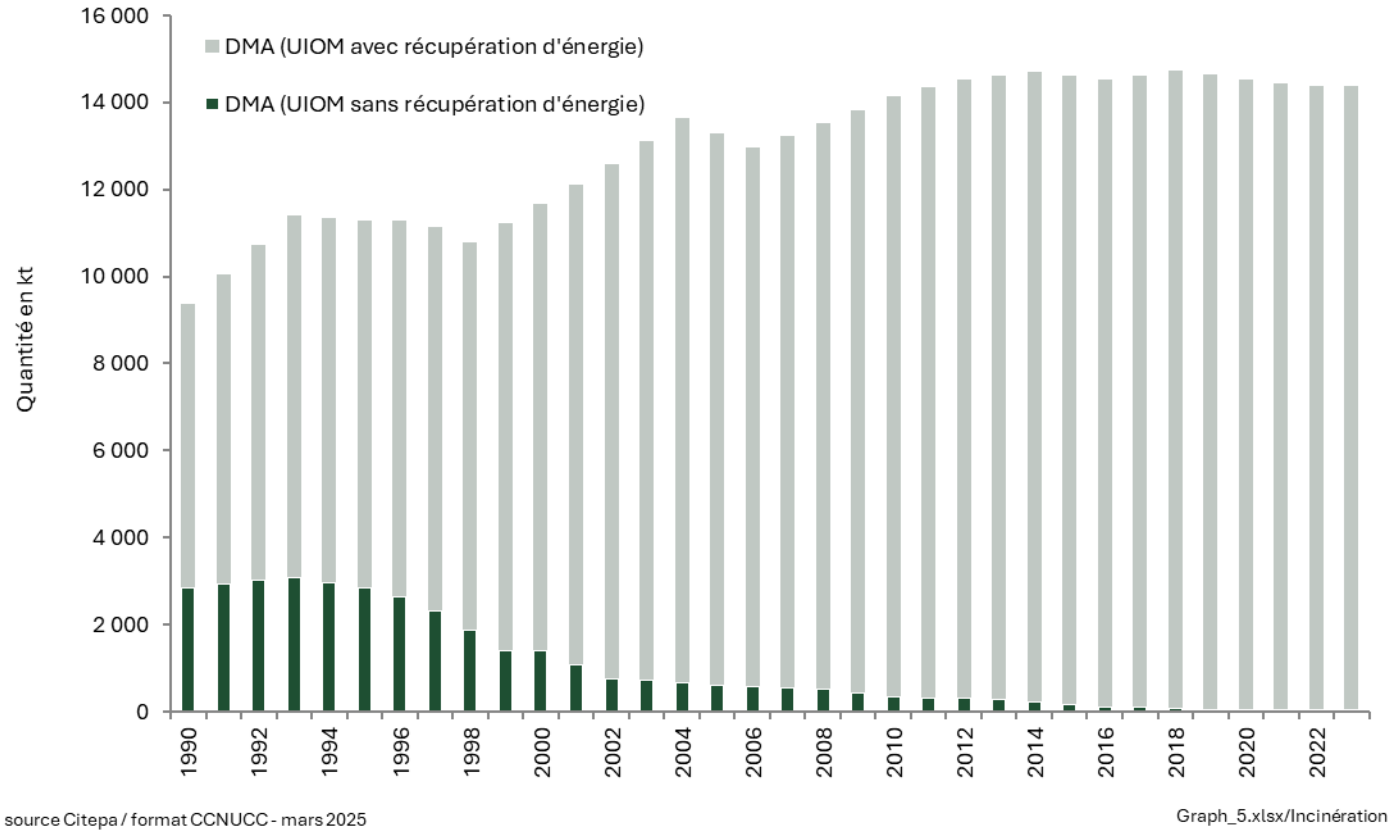
# 7.4.1 Caractéristiques de la catégorie

### 1.1.1.34 Incinération de déchets (5C1)

**Incinération des déchets non dangereux (5C1.1a et 5C1.2a)**

Environ 120 sites d'incinération de déchets non dangereux recevant des déchets ménagers étaient recensés en France dont deux sites en Outre-mer (Martinique et St Barthélemy). Parmi ces sites, près d'une dizaine sont sans récupération d'énergie, et traitent près de 50 000 tonnes de déchets [32], soit moins de 1% des quantités totales de déchets non dangereux incinérés. L'incinération de déchets sans récupération d'énergie continue à disparaitre peu à peu au profit notamment de l'incinération avec récupération d'énergie et ne devrait plus exister à partir de 2025 [608]. En 2022, le parc d'incinérateurs des ordures ménagères couverts par l'enquête de l'ADEME faisait état de 117 sites équipés de dispositifs de récupération énergétique et seulement deux sites sans.

**Figure 228 : Quantité de déchets (kt) non dangereux incinérés avec et sans récupération d'énergie (Métropole et outre-mer inclus dans l'UE)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

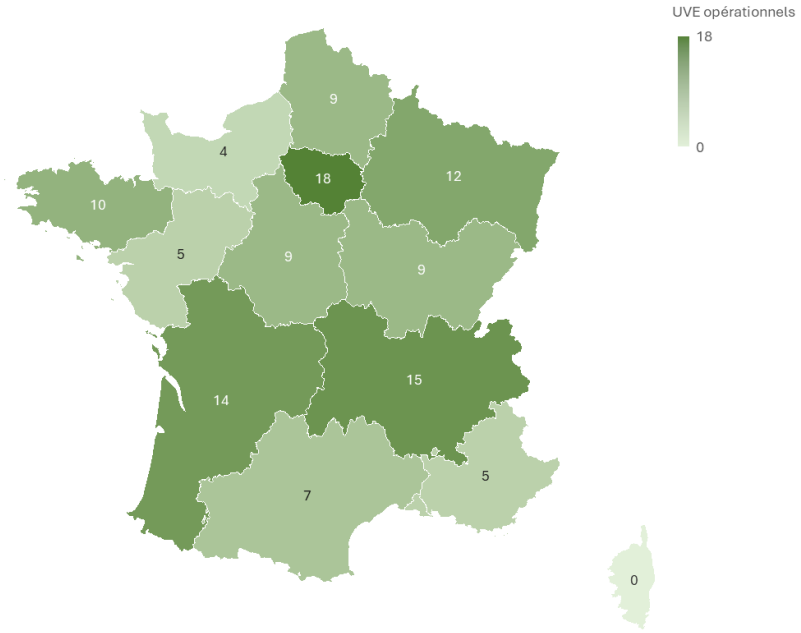
Graph_5.xlsx/Incinération

*Données d'activité*

L'ADEME réalise périodiquement, depuis plusieurs décennies, les enquêtes ITOM (Installations de Traitement des Ordures Ménagères) [32]. Ces enquêtes contiennent des données relatives à tous les sites recevant au moins des déchets collectés dans le cadre du service public d'élimination des déchets, implantés en Métropole et dans les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE. Les données collectées sont nombreuses : il s'agit, pour chaque installation, des quantités traitées par type de déchets selon la nomenclature ITOM, de l'énergie produite et son usage (vendue ou autoconsommée), des refus etc. Les données nécessaires à l'inventaire national (essentiellement les quantités traitées par type de déchets pour chaque installation) sont obtenues sous forme d'une base de données auprès de l'ADEME.

Les résultats de l'enquête ITOM font en outre l'objet d'un rapport public tous les deux ans. La dernière édition a été publiée en 2024 et concerne les données de l'année 2022. Ces données sont utilisées pour les périmètres métropolitain et ultramarins.

**Figure 229 : Parc français (en nombre) des installations d'incinération de déchets non dangereux selon l'enquête ITOM en 2022**




*Règle de rapportage*

La distinction entre « avec » ou « sans » récupération d'énergie se fait selon la classification effectuée par l'ADEME dans le cadre des enquêtes ITOM [32], c'est-à-dire sans prendre en compte le rendement énergétique de l'incinérateur.

Les émissions de $CO_2$ issues de la part organique des déchets est comptabilisée hors total.

**Incinération des boues de stations d'épuration (5C1.1b)**

Le traitement des eaux conduit à la production de boues résiduelles en quantité très importante. Les données les plus récentes [511] indiquent une quantité supérieure à un million de tonnes de matière sèche (MS) générée par les stations d'épuration urbaines. Leurs destinations se répartissent comme suit en 2021 :

- Epandage agricole (32,5 %),
- Compostage (51,2 %),
- Incinération en UIOM, STEP ou site dédié (13,4 %),
- Mise en décharge (0,3 %),
- Autres (2,7 %).

Les émissions présentées pour l'incinération sont les émissions à la sortie de la cheminée.

Les émissions des stocks de boues en attente d'être incinérées ne sont pas comptabilisées.

Les facteurs d'émission se rapportent à des matières brutes. Quand les facteurs d'émission de la littérature se rapportent à de la matière sèche, ils sont convertis en considérant une siccité des boues incinérées de 33%.

**Incinération des déchets dangereux (5C1.2b)**

Les Déchets Dangereux (DD) correspondent à une catégorie des déchets, d'origine industrielle ou domestique, nécessitant un traitement spécifique en raison de leur potentiel de toxicité. L'incinération de déchets dangereux est caractérisée par une grande diversité qualitative et quantitative des déchets traités, qui peuvent induire des facteurs d'émission évoluant beaucoup d'une année à l'autre.

L'incinération des déchets dangereux s'effectue, d'une part, dans des installations spécifiques (incinération et évapo-incinération) et, d'autre part, sur les sites où ces déchets sont générés (incinération in-situ).

**Incinération spécialisée des déchets hospitaliers (5C1.2b)**

Les déchets hospitaliers recouvrent les déchets anatomiques humains, les déchets contaminés par des bactéries ou des virus ainsi que les déchets hospitaliers généraux tels que les instruments en plastiques, le textile etc. Ils sont incinérés pour réduire leur volume et donc pour économiser les coûts de mise en décharge. L'incinération permet également de prévenir toute fuite de substances toxiques ou contaminées dans l'environnement [17].

En France, une partie des déchets est incinérée dans les usines d'incinération de déchets non dangereux ou d'incinération de déchets industriels [32]. Le solde est incinéré, soit in-situ dans les centres hospitaliers (historiquement), soit dans des unités spécifiques qui sont très peu nombreuses [261] :

*Incinération in–situ*

En 1990, l'incinération in-situ concernait 200 000 à 300 000 t de déchets de soins à risque pour environ 1 350 incinérateurs. En 1996, la quantité incinérée in-situ n'est plus que de 40 000 t pour 200 incinérateurs. Elle chute à 25 000 t en 1997 pour 40 à 50 incinérateurs. La réduction de l'incinération in-situ provient du fait que, à la suite de l'enquête du ministère de la santé de 1990, il a été demandé aux hôpitaux de mettre leurs incinérateurs en conformité, ce qui représentait un coût trop important pour la plupart d'entre eux [261].

En l'absence de données, la quantité de déchets incinérés in situ est indexée sur la population au carré entre 1960 et 1989 car le taux d'équipement est supposé avoir plus fortement cru que la population.

Il n'y a plus d'incinération in-situ depuis 2004.

*Incinération en centre spécifique*

L'incinération en centre spécifique n'a débuté qu'en 1988. Auparavant, il n'y avait que de l'incinération in-situ.

Parmi les cinq sites d'incinération spécifiques de déchets hospitaliers qui ont fonctionné [261], un seul est toujours en fonction. Un second site disposait d'une ligne dédiée à l'incinération de DASRI jusqu'au début de l'année 2023.

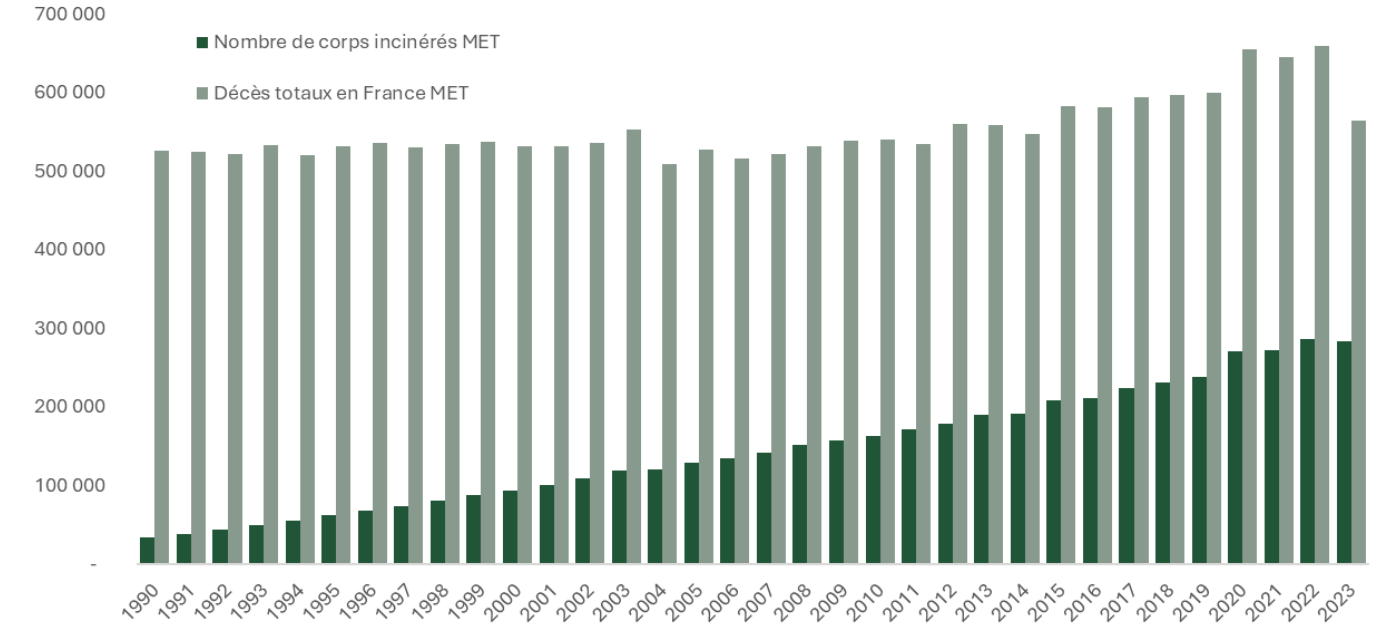
*Incinération en UIDND ou en usine d'incinération de déchets industriels*

Ces deux catégories sont traitées respectivement dans les sections « 5C_non hazardous waste incineration » et « 5C_hazardous waste incineration ».

**Crémation**

La crémation est la transformation du corps en cendres dans des incinérateurs conçus spécialement à cet effet. En France, la part de l'incinération est passée de 1% des obsèques en 1979 à plus de 30% aujourd'hui. Environ 270 000 crémations sont opérées chaque année dans près de 200 crématoriums [224].

**Figure 230 : Evolution de la pratique de l'incinération en France (Métropole)**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 Graph_5.xlsx/DMA

## 1.1.1.35 Feux ouverts de déchets (5C2)

**Feux ouverts des déchets verts (5C2.1)**

Cette section se rapporte aux feux ouverts de déchets verts. Cette activité est interdite en France mais reste pratiquée. Voir ***Feux ouverts de déchets (5C2)***.

**Feux ouverts des déchets non-organiques (5C2.2)**

Feux de véhicules

Cette section se rapporte aux feux de véhicules dont les causes peuvent être volontaires ou accidentelles. L'activité correspond au nombre de véhicules brulés annuellement. Il existe plusieurs sources de statistiques relatives aux incendies de véhicules dont les causes peuvent être volontaires ou accidentelles. La source retenue est celle des pompiers [566] qui présente l'avantage d'être publique et mise à jour annuellement depuis 2002. Cependant, elle concerne un nombre d'interventions (et non le nombre de véhicules brûlés) et ne fournit pas d'indication (dans sa version publique du moins) sur le type de véhicule (la gamme), ni sur la part des matières combustibles du véhicule ayant brûlé. La dernière édition disponible est celle de 2023 et concerne les incendies de 2022.[42]

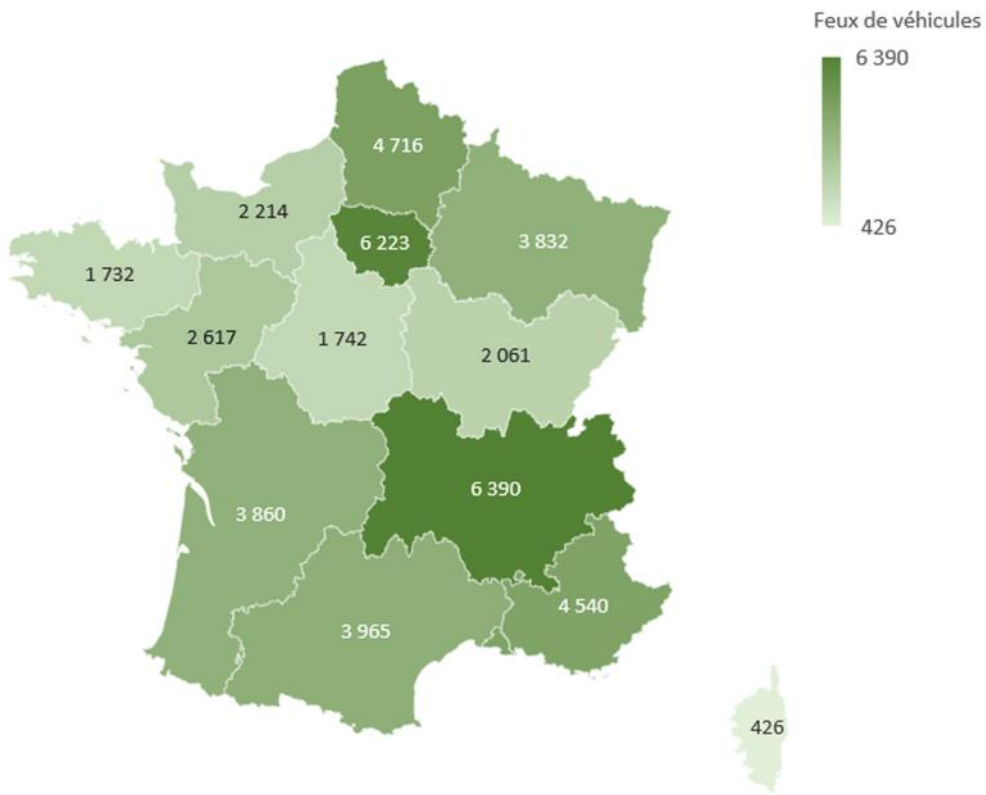
Il a donc été posé comme hypothèse que le nombre d'interventions correspond à un nombre de véhicules et que l'intégralité des matières combustibles du véhicule est brûlée comme dans le cas des essais menés par l'INERIS.

En outre, faute de données plus détaillées sur le parc de véhicules brûlés, il est considéré un poids moyen de 1 230 kg par véhicule brûlé (moyenne des poids des véhicules brûlés lors des essais) et une perte de poids moyenne de 16,7% (moyenne des essais réalisés) [1084].

Enfin, le périmètre géographique couvert par le rapport annuel « Services d'incendie et de secours, statistiques annuelles » [566] ne comprend que la métropole et les DROM (Guadeloupe, Mayotte, la Réunion, la Martinique et la Guyane).

[42] Par conséquent, on fait l'hypothèse que le nombre d'incendies est similaire en 2022 et 2023.

**Figure 231 : Répartition des feux de véhicules par catégorie en 2022**




Brûlage de films plastiques agricoles usagés

Les films plastiques agricoles sont utilisés comme films de serre, pour le paillage, l'enrubannage et l'ensilage. Ils sont parfois brûlés en bout de champ par les agriculteurs. Cette activité est interdite en France mais reste pratiquée.

D'après l'ADEME [264], environ 75 000 tonnes de films sont achetées chaque année. Selon le Comité des Plastiques Agricoles (CPA), la quasi-totalité des plastiques agricoles n'est plus brulée conformément à la législation en vigueur. Les quantités brulées (brûlage sauvage) tendent à disparaître, notamment parce que des filières de recyclage se sont mises en place.

## 7.4.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/donnees-air-climat/methodologie-de-linventaire-ominea/.

### 1.1.1.36 Incinération de déchets (5C1)

**Incinération des déchets non dangereux (5C1.1a et 5C1.2a)**

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions de $CO_2$ sont déterminées selon la méthodologie recommandée dans les lignes Directrices 2006 du GIEC [743] au moyen de facteurs d'émission calculés sur la base du contenu en carbone des déchets (FC), de la composition des déchets traités en UIDND (WF), du facteur d'oxydation de l'incinération (OF) et du ratio de carbone d'origine fossile (CFC).

$$CO_2\ Emissions = MSW * \sum_i (WFi * dmi * CFi * FCFi * OFi) * 44/12$$

Où :

$CO_2$ Emissions = Emissions de $CO_2$, Gg/an

MSW = quantité totale de déchets solides municipaux (poids humide) incinérés, Gg/an

$WF_i$ = fraction du type de déchets i dans les DSM (poids humide) incinéré, avec $\sum WF_i = 1$,

$dm_i$ = teneur en matière sèche des DSM (poids humide) incinérés, (fraction)

$CF_i$ = fraction de carbone dans la matière sèche (teneur totale en carbone), (fraction)

$FCF_i$ = fraction de carbone fossile dans le carbone total, (fraction)

$OF_i$ = facteur d'oxydation, (fraction)

44/12 = facteur de conversion du C en $CO_2$

i = composants des DSM incinérés tels que le papier/carton, les textiles, les déchets alimentaires, le bois, les déchets de jardin (cour) et de parc, les couches jetables, le caoutchouc et le cuir, les plastiques, le métal, le verre, les autres déchets inertes.

La composition des déchets incinérés selon les catégories nécessaires à l'application de la méthodologie du GIEC (déchets alimentaires, déchets verts, papier/carton, bois, textiles, textiles sanitaires et incombustibles) est estimée sur la base, d'une part, d'enquêtes de caractérisation des déchets ménagers (dites MODECOM [368]), d'enquêtes de caractérisation des déchets industriels selon l'activité, la nature des déchets et le type de traitement [733] et, d'autre part, d'enquêtes bisannuelles caractérisant les déchets incinérés (pour les territoires métropolitain et ultramarins) réalisées par l'ADEME [32].

**Tableau 335 : Composition des déchets incinérés en UIDND (y.c déchets industriels, hors boues) en Métropole**

| Année | Déchets alimentaires (%) | Déchets verts (%) | Papier / carton (%) | Bois (%) | Textile (%) | Textile sanitaire (%) | Cuir et caoutchouc (%) | Plastiques et autres inertes | | Boues (%) | Construction et démolition (%) | Déchets Dangereux (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | *total* | *dont combustibles* | | | |
| 1990 | 24.2% | 4.4% | 23.7% | 7.5% | 2.7% | 3.7% | 0.0% | *32.1%* | *13.7%* | 0.6% | 0.1% | 1.1% |
| 1995 | 24.2% | 4.4% | 23.7% | 7.5% | 2.7% | 3.7% | 0.0% | *32.1%* | *13.7%* | 0.6% | 0.1% | 1.1% |
| 2000 | 26.6% | 4.8% | 20.6% | 9.0% | 2.4% | 6.1% | 0.0% | *28.3%* | *13.1%* | 0.9% | 0.0% | 1.2% |
| 2005 | 28.1% | 6.3% | 16.9% | 9.8% | 2.1% | 8.3% | 0.1% | *26.1%* | *13.0%* | 1.2% | 0.0% | 1.2% |
| 2010 | 27.4% | 5.3% | 15.7% | 11.6% | 2.2% | 10.1% | 0.1% | *25.1%* | *13.4%* | 0.9% | 0.1% | 1.3% |
| 2011 | 26.1% | 5.2% | 15.3% | 13.3% | 2.2% | 10.1% | 0.2% | *25.1%* | *13.8%* | 1.1% | 0.0% | 1.4% |
| 2012 | 24.8% | 5.1% | 14.8% | 15.0% | 2.2% | 10.1% | 0.2% | *25.0%* | *14.1%* | 1.2% | 0.0% | 1.5% |
| 2013 | 24.4% | 5.4% | 14.9% | 14.3% | 2.3% | 10.5% | 0.2% | *25.4%* | *14.8%* | 1.0% | 0.0% | 1.8% |
| 2014 | 23.9% | 5.6% | 14.9% | 13.5% | 2.4% | 10.8% | 0.2% | *25.8%* | *15.5%* | 0.8% | 0.0% | 2.0% |
| 2015 | 23.4% | 5.4% | 14.9% | 13.3% | 2.5% | 11.1% | 0.2% | *26.4%* | *16.0%* | 0.8% | 0.0% | 2.0% |
| 2016 | 22.9% | 5.3% | 14.9% | 13.0% | 2.5% | 11.4% | 0.2% | 26.9% | *16.5%* | 0.8% | 0.0% | 2.1% |
| 2017 | 22.7% | 5.3% | 15.0% | 12.6% | 2.6% | 11.5% | 0.1% | 27.6% | *16.5%* | 0.7% | 0.0% | 1.9% |
| 2018 | 22.5% | 5.4% | 15.0% | 12.3% | 2.6% | 11.6% | 0.1% | 28.2% | *16.5%* | 0.7% | 0.0% | 1.7% |
| 2019 | 22.2% | 5.3% | 14.9% | 12.1% | 2.7% | 11.2% | 0.1% | 28.9% | *16.8%* | 0.7% | 0.0% | 1.9% |
| 2020 | 22.0% | 5.2% | 14.8% | 11.9% | 2.7% | 10.9% | 0.1% | 29.6% | 17.0% | 0.7% | 0.0% | 2.0% |
| 2021 | 22.0% | 5.2% | 14.8% | 11.7% | 2.7% | 10.7% | 0.1% | 30.1% | 17.1% | 0.6% | 0.0% | 2.0% |
| 2022 | 22.0% | 5.2% | 14.8% | 11.6% | 2.7% | 10.4% | 0.1% | 30.5% | 17.2% | 0.5% | 0.0% | 2.1% |
| 2023 | 21.8% | 5.2% | 14.8% | 11.5% | 2.8% | 10.2% | 0.1% | 31.0% | 17.2% | 0.5% | 0.0% | 2.1% |

Les valeurs par défaut de contenu en carbone des déchets (FC) proposées par le GIEC sont appliquées [617][618].

La valeur par défaut du facteur d'oxydation de l'incinération proposée par le GIEC est appliquée [618].

Les valeurs par défaut du ratio de carbone d'origine biomasse (FCF) proposées par le GIEC sont appliquées [617][618].

***Emissions de $CH_4$***

Le facteur d'émission de $CH_4$ dépend du type de technologie d'incinération (four à grille ou à lits fluidisés).

Pour une technologie à grille, le facteur d'émission est de 0,2 kg $CH_4$ / kt de déchets [619].

Pour une technologie à lits fluidisés, le facteur d'émission du $CH_4$ est nul [619].

La répartition des usines par type de four en France, en proportion de la capacité installée, est connue pour 2005 au travers de l'enquête de l'ADEME [335]. Elle est composée de 97,2 % de fours à grille (grilles fixes, grilles mobiles et fours rotatifs) et de 2,8 % de lits fluidisés.

Le facteur d'émission moyen déduit est de 0,19 g / t de déchets pour les territoires métropolitain et ultramarins.

***Emissions de $N_2O$***

Le facteur d'émission du $N_2O$ est calculé sur la base des déclarations annuelles des sites sur la plateforme GEREP à partir de 2004. Pour les années antérieures, le facteur d'émission de 2004 est appliqué. L'estimation réalisée par les industriels s'appuie généralement sur les concentrations mesurées en continu au niveau des cheminées.

**Tableau 336 : Facteurs d'émission de $N_2O$ associés à l'incinération de déchets ménagers (g $N_2O$/Mg de déchets)**

| g/Mg | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 |
|---|---|---|---|---|
| $N_2O$ | 98,4 | 98,4 | 58,7 | 24,3 |

**Incinération des boues de stations d'épuration (5C1.1b)**

L'activité correspond aux masses (en matière brute) de boues incinérées.

Les facteurs d'émission se rapportent à des matières brutes. Quand les facteurs d'émission de la littérature se rapportent à de la matière sèche, ils sont convertis en considérant une siccité des boues incinérées de 33%.

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions sont calculées au moyen d'un facteur d'émission de 1 650 kg/t de boues (sur base sèche) basé sur la composition des boues (teneur en Carbone de 45 %) issu des lignes directrices du GIEC 2006 [432].

Ces émissions sont considérées être en totalité d'origine biomasse et ne sont pas rapportées dans le total national pour le rapportage CRT.

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions sont calculées au moyen d'un facteur d'émission de 9,7 g/t de boues (humide) proposé par défaut dans les lignes directrices 2006 du GIEC [738].

***Emissions de $N_2O$***

**Incinération des déchets industriels dangereux (5C1.2b)**

Données d'activité

Les quantités incinérées dans les centres spécifiques sont connues via l'ADEME [157] pour les données historiques, via les déclarations des exploitants [19] entre 2004 et 2012 et via le panorama de la gestion des déchets dangereux pour les années récentes [737].

Les quantités incinérées in-situ sont connues annuellement via les déclarations des sites concernés [19]. L'incinération de déchets dangereux est considérée comme une activité présente uniquement en métropole. Aucune émission n'est allouée aux territoires ultramarins.

Règle de rapportage

Les émissions liées à l'incinération de déchets dangereux dans des cimenteries sont traitées dans la section « 1A2f_cement ».

Emissions :

***Emissions de $CO_2$***

Le facteur d'émission du $CO_2$ est calculé sur la base des déclarations des sites spécifiques et in-situ [19]. Pour les années antérieures à 1994, en l'absence de données, le facteur d'émission retenu est celui de 1994.

**Tableau 337 : Facteurs d'émission de $CO_2$ associés à l'incinération de déchets ménagers (kg $CO_2$/Mg de déchets)**

| kg/Mg | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 |
|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 811,5 | 810,5 | 882,9 | 951,5 |

***Emissions de $CH_4$***

A partir de 2004, les données des déclarations annuelles des sites industriels [19] sont utilisées et permettent de calculer un facteur d'émission de $CH_4$ moyen représentatif des conditions effectives de fonctionnement et de leur variabilité interannuelle. En l'absence d'autres données disponibles, le facteur d'émission moyen de 2004 est appliqué entre 1990 et 2003.

**Tableau 338 : Facteurs d'émission de $CH_4$ associés à l'incinération de déchets ménagers (g $CH_4$/Mg de déchets)**

| g/Mg | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 |
|---|---|---|---|---|
| $CH_4$ | 12,1 | 12,1 | 12,4 | 12,6 |

***Emissions de $N_2O$***

A partir de 2004, les données des déclarations annuelles des sites industriels [19] sont utilisées et permettent de calculer un facteur d'émission de $N_2O$ moyen représentatif des conditions effectives de fonctionnement et de leur variabilité interannuelle. En l'absence d'autres données disponibles, le facteur d'émission moyen de 2004 est appliqué entre 1990 et 2003.

**Tableau 339 : Facteurs d'émission de $N_2O$ associés à l'incinération de déchets ménagers (g $N_2O$/Mg de déchets)**

| g/Mg | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 |
|---|---|---|---|---|
| $N_2O$ | 96,8 | 99,2 | 37,4 | 11,0 |

**Incinération spécialisée des déchets hospitaliers (5C1.2b)**

Données d'activité

L'activité correspond aux masses de boues déchets hospitaliers incinérés.

Rapportage :

Les émissions sont rapportées dans la catégorie 5C sur toute la série temporelle.

Emissions :

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions sont estimées au moyen d'un facteur d'émission de 572 kg/t de déchets calculé à partir du taux de carbone dans les déchets hospitaliers, du ratio de carbone d'origine fossile et du facteur d'oxydation fournis dans les lignes directrices 2006 du GIEC [621]. Cette valeur concerne à la fois l'incinération in-situ et l'incinération en centre spécifique.

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions de $CH_4$ sont estimées au moyen du même facteur d'émission proposé pour les déchets municipaux dans les lignes directrices 2006 du GIEC, en utilisant le facteur d'émission le plus élevé pour les fours à grille de 0,20 g/t de déchets [619].

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions de $N_2O$ sont estimées au moyen d'un facteur d'émission de 100 g/t de déchets fourni dans les lignes directrices 2006 du GIEC [620]. Cette valeur concerne à la fois l'incinération in situ et l'incinération en centre spécifique.

**Crémation (5C1.1b)**

Données d'activité

Le niveau d'activité correspond au nombre de corps incinérés annuellement. Cette information est fournie par la fédération française de la crémation (FFC) [224].

L'activité est interpolée pour les années où la donnée n'est pas disponible.

Emissions

***Emissions de $CO_2$***

Les émissions sont supposées 100% être d'origine organique (les accessoires qui brûlent contiennent en fait une faible part de carbone d'origine non organique).

Il n'est donc pas pris en compte dans les rapportages réalisés dans le cadre de la CCNUCC.

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions sont supposées négligeables.

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions sont supposées négligeables.

## 1.1.1.37 Feux ouverts de déchets (5C2)

**Feux ouverts des déchets verts (5C2.1b)**

Activité

**Tableau 340 : Quantité de déchets verts gérés en gestion domestique (Métropole et DOM) en Gg:**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |

**Tableau 341 : Part du brûlage dans la gestion domestique (Métropole et DOM) en %**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |

**Tableau 342 : Quantité de déchets verts gérés en gestion domestique et brûlés (Métropole) en Gg**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |

Emissions

***Emissions de $CO_2$***

Ces émissions sont considérées être en totalité d'origine biomasse et ne sont pas rapportées dans le total national pour le rapportage CRT. Toutefois, les émissions de $CO_2$ biogéniques sont estimées pour information.

Dans ce cadre, et dans une première approche, les émissions de $CO_2$ issues des feux de déchets verts seront estimées sur la base d'une variante de l'équation du GIEC (2006 et raffinement 2019) présentée dans le chapitre 5 [743].

$$\boldsymbol{Emissions\ de\ CO_2b} = \boldsymbol{MSW} \times \sum_j \left(\boldsymbol{WF_j} \times \boldsymbol{dm_j} \times \boldsymbol{CF_j} \times (\mathbf{1} - \boldsymbol{FCF_j}) \times \boldsymbol{OF_j}\right) \times \frac{\mathbf{44}}{\mathbf{12}}$$

Où:

E. de $CO_2$b = émissions totales de $CO_2$ biogénique au cours de l'année d'inventaire, Gg $CO_2$b

MSW = quantité totale de déchets incinérés, Gg

$WF_j$ = fraction du type de déchet/matière de l'élément j dans les déchets (en poids humide brûlé à l'air libre)

$dm_j$ = fraction de matière sèche de l'élément j

$CF_j$ = fraction de carbone dans la matière sèche (c'est-à-dire teneur en carbone) du composant j

$FCF_j$ = fraction de carbone fossile dans le carbone total du composant j

$OF_j$ = facteur d'oxydation

44/12 = facteur de conversion de C en $CO_2$

Dans le cadre de l'estimation des émissions de $CO_2$bio liées à l'incinération des seuls déchets verts, l'équation est simplifiée et n'inclus que les dm, CF et CFC liées aux déchets verts.

| Catégorie de déchet | Teneur en matière sèche (% du poids humide) | Teneur en carbone (% du poids sec) | Teneur en carbone fossile (% du poids sec) | Facteur d'oxydation (%) |
|---|---|---|---|---|
| Déchets verts | 40% | 38% | 0% | 71% |

Compte tenu des éléments présentés ci-dessus, le facteur d'émission appliqué pour les émissions de $CO_2$b associé aux feux de déchets verts est estimé à 395,71 kg/Mg de déchets verts.

***Emissions de $CH_4$***

Le facteur d'émission provient d'une étude de l'INERIS sur les feux de déchets [488] en considérant un mélange 50 / 50 de branches et de feuilles. Celui-ci est estimé à 3,2 kg $CH_4$ / Mg de déchets verts brûlés.

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions ne sont pas estimées.

**Feux ouverts des déchets non-organiques - Feux de véhicules (5C2.2b)**

Activité

L'activité correspond au nombre de véhicules brûlés annuellement. Il est considéré un poids moyen de 1 230 kg par véhicule brûlé (moyenne des poids des véhicules brûlés lors des essais) et une perte de poids moyenne de 16,7 % (moyenne des essais réalisés) [1084].

Emissions

***Emissions de $CO_2$***

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions ne sont pas estimées.

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions ne sont pas estimées.

**Feux ouverts des déchets non-organiques - Brûlage de films plastiques agricoles usagés (5C2.2b)**

Activité

Les émissions sont calculées sur la base de la quantité de films agricoles brûlés et d'un facteur d'émission spécifique au type de plastique.

Le Comité des Plastiques Agricoles a fourni des données sur les tonnages de plastiques (en polyéthylène pur) brûlés en 1990, 2000 et 2010 [434]. Les années intermédiaires sont interpolées, et une hypothèse de stabilité a été retenue depuis 2010.

Emissions

***Emissions de $CO_2$***

Les films plastiques incinérés étant en polyéthylène, un facteur d'émission de 3 143 kg/t de plastiques est retenu correspondant à une combustion totale du carbone contenu dans les films.

***Emissions de $CH_4$***

En l'absence d'informations fiables et en raison des faibles niveaux supposés, les émissions de $CH_4$ sont actuellement négligées.

***Emissions de $N_2O$***

En l'absence d'informations fiables et en raison des faibles niveaux supposés, les émissions de $N_2O$ sont actuellement négligées.

## 7.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 5C).

Pour l'ensemble du secteur 5C, l'incertitude moyenne considérée pour l'activité est de l'ordre de 20 %, et celle retenue pour les facteurs d'émission est de 20 % pour le $CO_2$, 50 % pour le $CH_4$ et 30 % pour le $N_2O$.

Concernant la cohérence temporelle des séries, la même méthodologie est utilisée pour estimer les émissions sur toute la série temporelle. Les éventuelles données d'activité manquantes sont estimées à partir des années connues (interpolation linéaire).

## 7.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Les statistiques recueillies entrent dans le champ de l'assurance qualité de l'organisme émetteur. Le Citepa effectue également des vérifications internes sur la cohérence des séries dans le temps.

**Incinération des déchets (5C1)**

Les émissions obtenues dans les déclarations annuelles des exploitants sont vérifiées par les autorités locales (DRIRE/DREAL) puis validées par le Ministère chargé de l'Ecologie (MTE). Les FE des différents sites sont comparés avant leur prise en compte dans le calcul du FE moyen national. Les éventuelles valeurs anormales sont vérifiées avec l'exploitant.

## 7.4.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 5C**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 2 398 | 2 432 | 1 895 | 1 728 | 1 792 | 1 830 | 1 727 | 1 705 | 1 972 | 1 715 | 1 698 | 1 612 | 1 574 | 1 975 | 1 762 | 2 009 | 1 765 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 2 315 | 2 403 | 1 882 | 1 719 | 1 788 | 1 824 | 1 724 | 1 700 | 1 968 | 1 709 | 1 694 | 1 608 | 1 570 | 1 975 | 1 758 | 2 019 | 1 762 | 1 474 |
| Différence | kt CO2e | -84 | -28 | -13 | -9.0 | -3.8 | -5.5 | -3.2 | -4.4 | -4.3 | -5.7 | -4.0 | -3.6 | -4.1 | +0.36 | -3.7 | +9.8 | -2.8 | +1 474 |
| | % | -4% | -1% | -1% | -1% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | -0% | +0% | -0.21% | +0% | -0% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /5.C

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

Incinération des déchets (5C1)

*Déchets non dangereux*

Prise en compte de l'enquête ITOM de l'ADEME et modification en conséquence (à la hausse) des quantités de déchets non dangereux incinérés sans récupération d'énergie en 2021 et 2022. La composition a également été impactée et influe sur le FE $CO_2$ de ces mêmes années.

*Déchets dangereux*

Révision à la marge des quantités de déchets incinérés en 2022.

*Boues d'épuration*

Mise à jour des quantités de boues incinérées en 2021 et 2022 (à la baisse) à la suite de la publication des derniers jeux de données disponibles.

*Déchets hospitaliers*

Modification des quantités de DASRI incinérés entre 2006 et 2023 en considérant les données GEREP. Cette modification des données d'activité (avec une hausse comprise entre +10% et +72% en fonction des années) entraîne une hausse des émissions sur la période concernée. Cette modification fait suite au changement méthodologique débuté en 2023.

En parallèle, les quantités de déchets incinérés par la ligne DASRI d'un site d'incinération ont été corrigées. En effet, une incertitude planait sur la quantité de déchets à considérer car le site dispose de deux lignes d'incinération dont les vocations sont différentes. Cette modification a entrainé une estimation à la baisse des tonnages incinérés par ce site pour ce qui est des déchets hospitaliers.

Enfin, le FE $CO_2$f a été modifié. En effet, ce dernier était estimé en considérant une teneur en matière sèche de 100% faute de données dans le chapitre 5 des LD 2006. Or le chapitre 2 des LD 2006 donne une teneur en matière sèche pour les déchets cliniques de 65%. Ce changement engendre une baisse du FE $CO_2$f sur toute la période.

Feux ouverts de déchets (5C2)

*Déchets verts*

Mise à jour des données de population sur 2020- 2022. En parallèle, mise à jour de la part du brûlage de déchets (%) en 2023 avec la dernière édition du baromètre environnement de l'ADEME.

Enfin, les émissions de $CO_2$bio ont été estimées et sont rapportées pour information. Cela fait suite à une demande des Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air.

*Feux de Véhicules*

Mise à jour des données 2022 avec la prise en compte de la dernière édition des statistiques des Services d'incendie et de secours (édition 2023). En parallèle, des données permettant une spatialisation des données ont été prises en compte. Par conséquent, une distinction des incendies entre MET et DOM a été introduite.

**Raisons et justifications**

Amélioration de l'exactitude.

## 7.4.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue de l'UE de 2024, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| CRT category / issue | Review recommendation, technical correction or revised estimate | Review report / paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| FR-5C-2024-0001 | Open burning of non-biogenic waste (cars fires and open burning of agricultural plastics.), emissions reported for year 2022 are identical to the values reported for year 2021. Explanation provided, issue partly resolved. | EMRT UE review plateform | Implemented. We think that the TERT noted that emissions are identical between 2023 and 2022. Regarding the amount of green waste burned by households, France uses reports from ADEME (Baromètre environnement) and the percentage of waste burnt by households is identical between 2022 and 2023 in these reports. |

## 7.4.7 Améliorations envisagées

Pas d'amélioration prévue.

# 7.5 Traitement des eaux (5D)

## 7.5.1 Caractéristiques de la catégorie

**Tableau 343 : Substances pour lesquelles le secteur 5D est source clé en 2023 (hors UTCATF)**

| Sous-secteur | Substance | Niveau | | Evolution | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Rang | Contribution (%) | Rang | Contribution (%) |
| 5D | $CH_4$ | 33ème | 0,5% | 42ème | 0,5% |
| 5D | $N_2O$ | 28ème | 0,6% | 47ème | 0,4% |

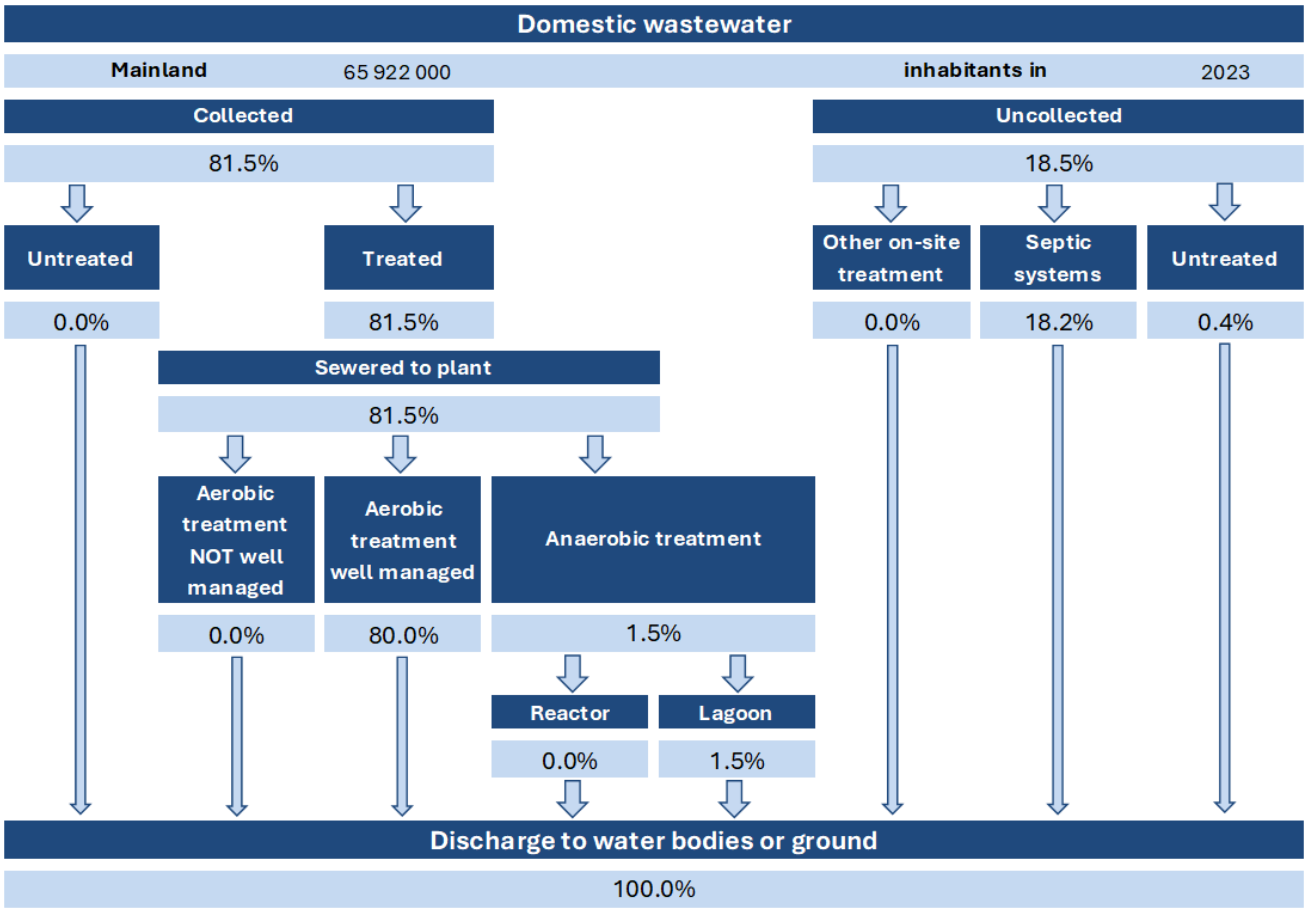
Les eaux usées résidentielles et les eaux usées industrielles sont abordées distinctement.

En France, les **eaux usées domestiques** sont soit traitées en Stations de Traitement des Eaux Usées (STEU), soit traitées de façon autonome en fosses septiques (voir très rarement par filtres biologiques), soit rejetées directement dans le milieu naturel.

La France compte plus de 22 600 stations d'épuration d'eaux usées (dites STEU ou STEP) recevant des eaux résidentielles, commerciales et industrielles qui représentaient une charge globale de 78,5 millions d'Equivalents-habitants (Eh). Des informations descriptives relatives à ce parc de STEU (capacité, type, conformité, commune d'implantation, etc.) sont mises à jour annuellement dans la Base de Données sur les Eaux Résidentielles Urbaines (BD ERU) publiée par le Ministère en charge de l'Environnement [752]. L'évolution des taux de collecte à ces STEU entre 1990 et 2005 est liée à la Loi sur l'eau de 1992 qui rend obligatoire la collecte et le traitement des eaux usées domestiques. Le transfert de la population avec rejets directs s'est d'abord effectué vers les traitements autonomes, puis de la population non raccordée à un système collectif vers les STEU. Toutes les eaux usées collectées sont traitées en STEU ou en fosses septiques. Les eaux usées d'une faible part de la population restent rejetées directement dans le milieu naturel sans traitement.

Le tableau suivant présente la part de la population dont les eaux sont traitées via les différents types de traitement en 20223

**Figure 232 : Répartition de la population par type de traitement/rejet des eaux usées domestiques en Métropole en 2023**




Les eaux usées d'une part assez importante (environ 18 %) de la population sont traitées en fosses septiques, notamment dans les zones non équipées d'un réseau de collecte.

Les eaux usées d'une faible part de la population (moins de 1 %) restent rejetées directement dans le milieu naturel sans traitement.

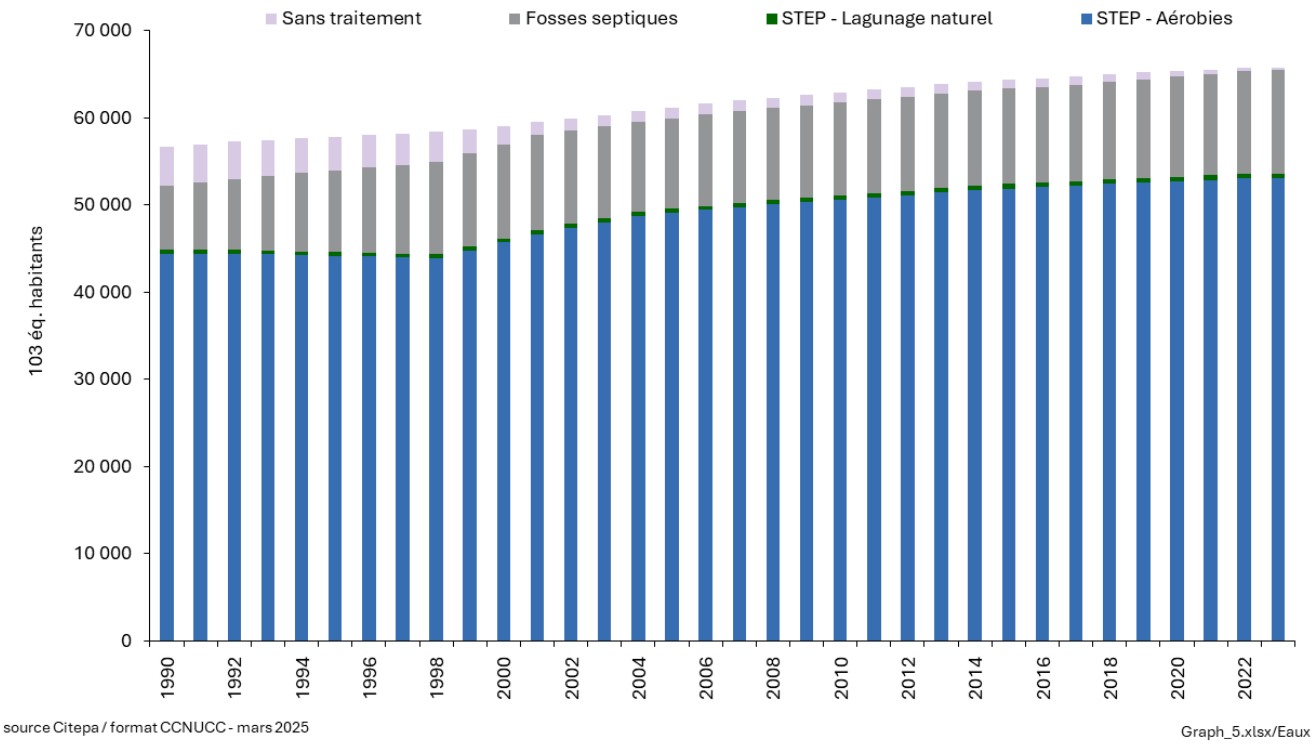
Le tableau suivant présente la part de la population pour les principaux types de traitement (STEU, fosses septiques et rejets directs) au cours du temps.

**Tableau 344 : Répartition du type de traitement des eaux usées domestiques en Métropole**

| Année | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Part de la population connectée à une STEU (%) | 79 | 77 | 78 | 81 | 81 | 82 | 82 |
| Part de la population connectée à une fosse septique (%) | 13 | 16 | 18 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Part de la population avec rejet direct (%) | 8 | 7 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 |

L'évolution des taux de collecte à ces STEU entre 1990 et 2005 est liée à la Loi sur l'eau de 1992 qui rend obligatoire la collecte et le traitement des eaux usées domestiques. Le transfert de la population avec rejets directs s'est d'abord effectué vers les traitements autonomes, puis de la population non raccordée à un système collectif vers les STEU. Toutes les eaux usées collectées sont traitées.

**Figure 233 : Pollution traitée par système en Métropole**




source Citepa / format CCNUCC - mars 2025

Graph_5.xlsx/Eaux

Dans le traitement en STEU, les traitements aérobies représentent près de 98 % de ces traitements et sont distingués du lagunage naturel qui représente la part restante.

Dans les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE (périmètre « UE »), la part de la population connectée à une fosse septique dépend du territoire (entre 30 % et 50 %).

La quantité d'azote rejetée par habitant dépend de la consommation en protéines. La consommation en protéines est estimée sur la base de données de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'Agriculture), l'AFSA (l'Agence Française de Sécurité des Aliments) et le Crédoc (Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie), et est utilisée pour la métropole et pour les territoires d'OM.

Des valeurs spécifiques existent et sont utilisées pour la Polynésie Française et la Nouvelle Calédonie. Pour les autres territoires d'outre-mer, la consommation annuelle de protéine est considérée similaire à celles des territoires cités plus haut.

**Tableau 345 : Evolution de la consommation journalière de protéines d'un habitant en France métropolitaine**

| Année | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Consommation en protéines (g/hab./jour) en France (Métropole) | 94,7 | 94,4 | 95,2 | 89,9 | 96,0 | 86,3 | 85,8 |
| Consommation en protéines (g/hab./jour) en France (Outre-mer inclus dans l'UE) | 65,1 | 69,0 | 69,2 | 72,8 | 78,9 | 72,3 | 72,8 |

Les eaux usées **industrielles** sont traitées soit en stations d'épuration collectives (recevant ou non des eaux domestiques), soit en stations d'épuration in situ. Les eaux traitées sont ensuite rejetées dans le milieu naturel (rivières, mer).

Les eaux usées industrielles des territoires d'Outre-mer ne sont pas prises en compte car celles-ci sont négligeables en raison d'une activité industrielle marginale.

## 7.5.2 Méthode d'estimation des émissions

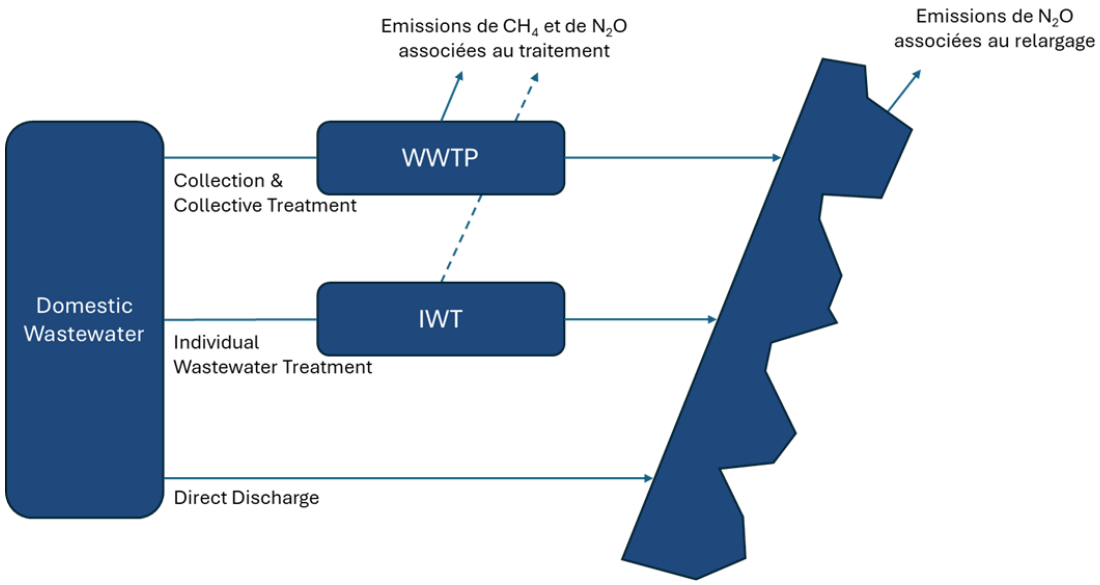
Pour plus de détails sur les activités et facteurs d'émission utilisés, se référer à la base de données OMINEA disponible en annexe électronique et sur le site internet suivant https://www.citepa.org/donnees-air-climat/methodologie-de-linventaire-ominea/.

Les eaux usées peuvent être une source de méthane ($CH_4$) lorsqu'elles sont traitées ou éliminées de façon anaérobie, comme elles peuvent être source d'émissions d'oxyde nitreux ($N_2O$). Les émissions de dioxyde de carbone ($CO_2$) provenant des eaux usées ne sont pas

traitées dans les Lignes directrices du GIEC car elles sont d'origine biogène et ne sont pas incluses dans les émissions totales nationales. Les eaux usées proviennent de nombreuses sources domestiques, commerciales et industrielles. Elles peuvent être traitées sur place (non collectées), conduites par des égouts vers une station d'épuration (collectées) ou rejetées, sans être traitées, dans le voisinage ou par le biais d'un déversoir. Les eaux usées domestiques sont définies comme étant les eaux usagées des ménages tandis que les eaux usées industrielles sont celles provenant de l'utilisation industrielle uniquement.

Les émissions atmosphériques associées au traitement et au relargage des eaux usées sont susceptibles d'intervenir à différents moments du traitement/relargage. Le graphique ci-dessous illustre cet état de fait pour les émissions de $CH_4$ et de $N_2O$ concernant les eaux usées domestiques.

**Figure 234 : Emissions de $CH_4$ et de $N_2O$ associées au traitement et au relargage des eaux usées domestiques**




*WWTP (WasteWater Treatment Plant), IWT (Individual Wastewater Treatment)

***Emissions de $CO_2$***

Le $CO_2$ étant d'origine biogénique, il fait l'objet d'une comptabilisation particulière par rapport aux autres substances. Ces règles conduisent à ne pas prendre en compte dans le total de l'inventaire national les émissions de $CO_2$ issues du traitement de l'eau dans les formats de rapportage CRT (catégorie 5B). Ces émissions de $CO_2$ ne sont pas estimées dans l'inventaire national.

***Emissions de $CH_4$***

Les émissions de $CH_4$ lors du traitement et du rejet des eaux usées et du traitement des boues dépendent essentiellement de deux paramètres :

- l'existence de conditions anaérobies du procédé de traitement ou du milieu dans lequel les eaux sont rejetées (avec ou sans traitement). Ce paramètre est traduit par le facteur de conversion en méthane (ou MCF) du système/milieu.
- et la charge organique des eaux/boues traitées ou rejetées. Ce paramètre est généralement traduit par la demande biologique en oxygène à 5 jours (ou DBO5) pour les eaux domestiques et demande chimique en oxygène (ou DCO) pour les eaux industrielles.

Les émissions nationales sont donc calculées séparément pour chaque procédé de traitement des eaux et des boues et type de rejet, d'une part pour les eaux domestiques et, d'autre part, pour les eaux industrielles.

**a. Traitement des eaux**

*a.1/ Traitements des eaux usées résidentielles*

Les émissions de $CH_4$ sont estimées pour les procédés de traitement spécifiés dans les lignes directrices 2006 du GIEC [615] présents en France et pour lesquels un MCF non nul est proposé.

**Figure 235 : Potentiel d'émission de CH4 et de N2O pour les systèmes de traitement et de rejet des eaux usées domestiques**

| Eaux Usées Domestiques | | | $CH_4$ | $N_2O$ |
|---|---|---|---|---|
| Collectées | Sans traitement | | 0 | x (rejet) |
| | Transfert via les égouts | | Non estimé | Non estimé |
| | Avec traitement | Traitement primaire | 0 | x (procédé)<br>x (rejet) |
| | | Traitement secondaire physico-chimique | | |
| | | Traitement biologique secondaire aérobie | | |
| | | Traitement secondaire avancé (nitrification/denitrification) | | |
| | | Lagunes peu profondes (< 2m) | x | |
| | | Lagunes profondes (> 2m) | Absent en France | Absent en France |
| Non collectées | Sans traitement | | 0 | x (rejet) |
| | Avec traitement | Fosses septiques | x | x (rejet) |
| | | Traitement aérobies in situ | 0 | |
| | | Latrines / toilettes sèches | Négligé | |
| | | Lagunes peu profondes (< 2m) | Absent en France | Absent en France |

0 : considéré comme nul (MCF = 0)
x : estimé et non nul

*Graph_5.xlsx*

Les émissions associées au rejet d'eaux usées dans le milieu naturel sont considérées comme nulles. En effet, les conditions climatiques françaises et la réglementation s'appliquant aux rejets dans les milieux naturels assurent que les eaux usées (traitées ou non) ne sont pas rejetées dans des eaux stagnantes ou déjà chargées en matières organiques.

Pour les types de traitement présentant des conditions anaérobies (MCF non nul spécifié dans les lignes Directrices 2006 du GIEC [615]), les émissions sont calculées selon une méthodologie similaire à celle proposée par le GIEC [374]. Les émissions de $CH_4$ pour chaque type de traitement j sont calculées selon l'équation (1) suivante :

$$E_j = (TOW_j - S_j) \times Bo \times MCF_j - R_j$$

Avec :

j : type de système de traitement /rejet

$TOW_j$ : charge organique en entrée du système j (kg $DBO_5$/an)

$S_j$ : charge organique dans les boues extraites (kg $DBO_5$/an)

$B_0$ : quantité de $CH_4$ émise par kg de BOD

$MCF_j$ : taux de conversion en $CH_4$ du système x (conditions anaérobies)

$R_j$ : quantité de $CH_4$ capté (kg $CH_4$/an) sur le système j

Dans cette équation, le facteur d'émission de chacun des types de traitement correspond alors à $B_0$ x $MCF_j$.

La valeur de $B_0$ par défaut proposée par les Lignes Directrices 2006 du GIEC [615] est appliquée ($B_0$ = 0,6 kg $CH_4$ / kg $DBO_5$ et 0,25 kg $CH_4$/kg DCO).

La charge organique issue de la population est estimée pour chaque type de traitement et milieu de rejet selon l'équation (2) suivante :

$$TOW_j = P_j \times BOD \times 365/1000$$

Avec :

$TOW_j$ : Charge organique en entrée du procédé j (kg $DBO_5$/an)

$P_j$ : Population connectée aux STEU utilisant majoritairement le procédé j

BOD : charge organique unitaire (g $DBO_5$/hab/jour)

La valeur de BOD par défaut proposée par les Lignes Directrices 2006 du GIEC [615] est appliquée (BOD = 60 g $DBO_5$/habitant/jour).

a.1.1/ Cas des stations collectives urbaines

En France métropolitaine, environ 81,5 % de la population a ses eaux usées collectées et traitées en STEU.

La base de données sur les eaux résiduaires urbaines [752] fournit une description du parc de STEU en termes de type de traitement et de capacités associées. Plus d'une vingtaine de types de STEU est identifiée dont la très grosse majorité sont des traitements biologiques aérobies (boues activées à forte – moyenne – faible charge, lits bactériens, biofiltres, etc.) ou physicochimiques.

Dans l'inventaire français, les procédés biologiques aérobies sont considérés comme bien gérés et les procédés physicochimiques ne sont pas considérés comme des sources de $CH_4$. Donc, seules les stations de type lagunage naturel présentent les conditions d'anaérobies nécessaires à l'émission de $CH_4$ (MCF non nul).

La part des capacités des STEU de type lagunage naturel décroit lentement depuis 2010 et représente environ 2%. Dans l'inventaire national, l'hypothèse est faite que 2% des capacités STEU correspondent à 2% de la population raccordée à des STEU de type lagunage naturel. La charge organique en entrée des lagunes est calculée sur la base de la population connectée à des lagunes et de la charge organique unitaire (BOD) selon l'équation (2). En parallèle, on observe une hausse constante de la part des capacités des STEU de type filtres plantés qui représentent 2%. La même méthode de calcul de la charge organique est utilisée.

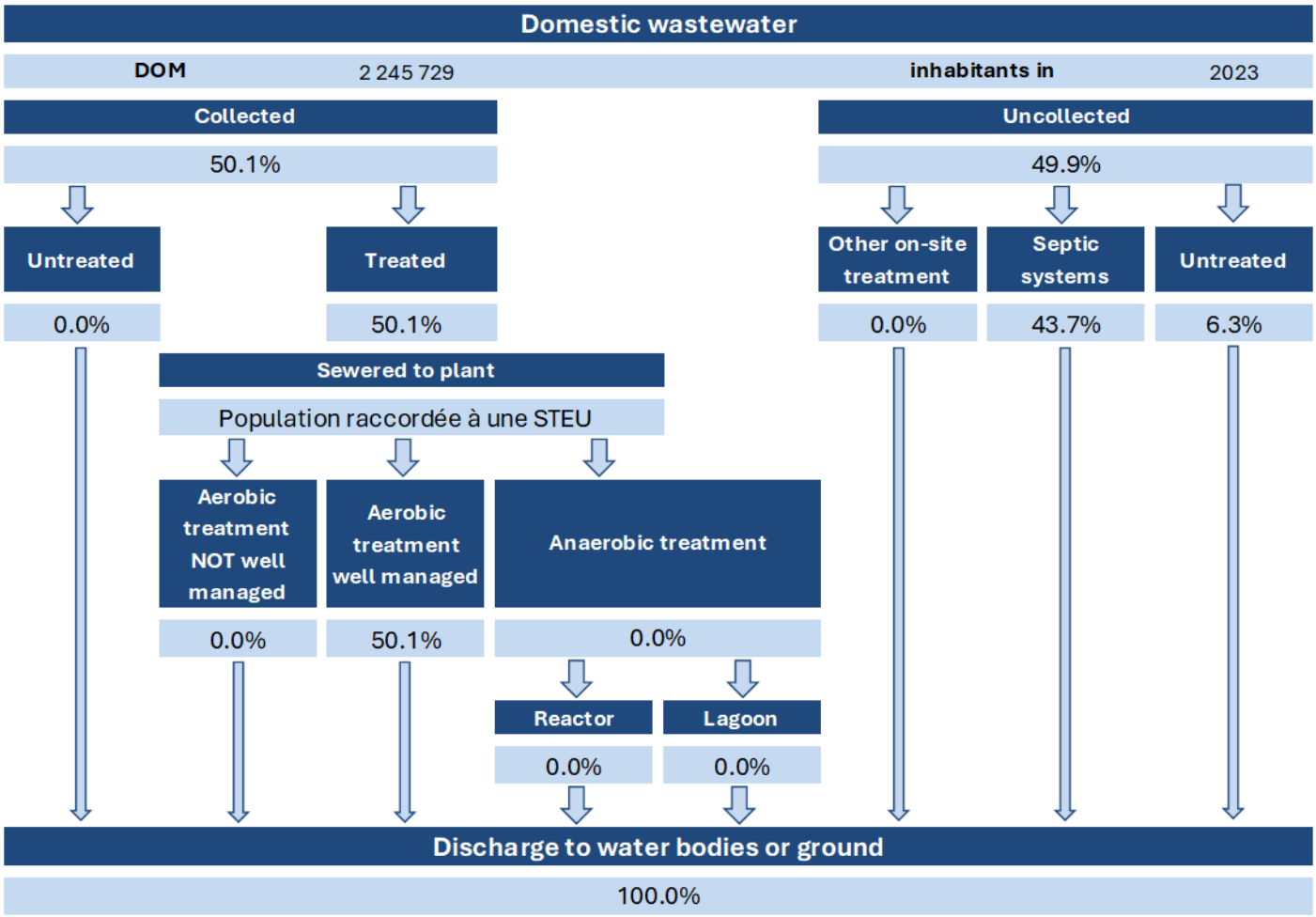
En France, les stations de type lagunage naturel ont une profondeur de l'ordre de 1 mètre [751]. La valeur par défaut proposée par les Lignes Directrices 2006 du GIEC [615] pour les lagunes peu profondes est appliquée (MCF = 0,2). Le facteur d'émission, correspondant à $B_0$ x $MCF_j$ des stations d'épuration de type lagunage naturel, est donc égal à 0,12 kg $CH_4$ / kg $DBO_5$. Concernant les stations de type filtres plantés, la France se réfère au supplément de 2013 des Lignes directrices 2006 du GIEC : Constructed wetlands for wastewater treatment. Les filtres plantés mis en œuvre en France sont assimilables aux Horizontal Subsurface Flow (VSSF) présentés dans le supplément (MCF = 0,01) [1228]. Le facteur d'émission, correspondant à B0 x MCFj des stations d'épuration de type lagunage naturel, est donc égal à 0,06 kg $CH_4$ / kg $DBO_5$.

La charge organique des boues extraites n'est pas connue et est considérée comme nulle ($S_j$ = 0).

Aucun $CH_4$ n'est capté au niveau des lagunes ($R_j$ = 0).

Concernant les territoires ultramarins, la part de la population connectée à des stations de traitement des eaux usées est sensiblement moins élevée (entre 40% et 70% pour les années récentes en fonction des territoires). De plus, aucune STEU de type lagunage n'est considérée dans les territoires ultramarins.

**Figure 236 : Répartition des méthodes de traitement des eaux usées domestique dans les départements d'outre-mer**




a.1.2/ Cas des eaux usées non raccordées au réseau de collecte

En France métropolitaine, environ 18,5% de la population a ses eaux usées non raccordées au réseau de collecte des STEU. Les eaux usées non raccordées au réseau de collecte sont en très grande majorité traitées par traitement autonomes (18,2% de la population en 2023), et une faible part est rejetée dans le milieu naturel sans traitement (0,4% de la population).

Ces traitements autonomes ont recours, pour la plupart des cas, à des fosses septiques dont le fonctionnement est majoritairement anaérobie. La valeur par défaut proposée par les Lignes Directrices 2006 du GIEC [615] pour les fosses septiques est appliquée (MCF = 0,5).

Le facteur d'émission, correspondant à $B_0$ x $MCF_j$ des fosses septiques, est égal à 0,3 kg $CH_4$ / kg $DBO_5$.

Le MCF proposé dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC [615] pour les fosses septiques (MCF = 0,5) intègre déjà le fait qu'une partie (50%) de la boue est extraite. La charge organique des boues extraites est considérée comme nulle ($S_j$ = 0).

Aucun $CH_4$ n'est capté au niveau des fosses septiques.

Les rejets directs dans le milieu naturel sont réalisés dans des eaux vives (conditions aérobies) et ne sont donc pas à l'origine d'émission de $CH_4$.

En ce qui concerne les fosses septiques, les émissions dépendent de la fraction de la population qui gère sa fosse septique conformément aux instructions relatives à l'élimination des boues de sa fosse/système septique (F dans la nouvelle équation 6.3c).

$$S_{septic} = TOW_{septic} \times F \times 0{,}5$$

Avec :

$S_{septic}$ = composant organique éliminé des eaux usées (sous forme de boues) dans les fosses septiques, kg DBO/an

$TOW_{septic}$ = matières organiques totales dans les eaux usées des fosses septiques, année d'inventaire, kg DBO/an

F = fraction de la population qui gère sa fosse septique conformément à l'instruction d'élimination des boues de sa fosse septique

0.5 = fraction des matières organiques dans les eaux usées éliminées dans les boues lorsque la fosse septique est gérée conformément aux instructions relatives à l'élimination des boues

En France métropolitaine, le paramètre F est considéré évolutif sur la période temporelle. Entre 1990 et 2010, la valeur par défaut du GIEC est retenue (0,5). Pour les années suivantes, F est estimé sur la base des données INSEE « Taux de conformité des dispositifs d'assainissement non collectif » [1283].

Pour les territoires d'Outre-mer, on considère que toutes les STEU sont de type aérobie et que seuls les traitements d'eaux usées domestiques par fosses septiques seront générateurs de $CH_4$. La part des logements principaux connectés à des fosses septiques pour chaque territoire d'Outre-mer inclus dans l'UE est disponible dans le recensement de la population pour quelques années. Cette part est également connue pour certains territoires d'Outre-mer non inclus dans l'UE. Le facteur de correction visant à prendre en compte les eaux industrielles est pris égal à 1 car les eaux usées industrielles (très faibles) sont soit traitées in situ soit considérées comme traitées en STEU de type aérobie bien gérées (MCF =0). Faute de données spécifiques à chaque territoire, la $DBO_5$ par habitant de la Métropole est appliquée.

*a.2/ Traitement des eaux usées industrielles*

Les eaux usées industrielles sont traitées soit en stations d'épuration collectives (recevant ou non des eaux domestiques), soit en stations d'épuration présentes sur le site industriel (dites in situ). Aucun rejet d'eaux industrielles sans traitement n'est considéré.

Les eaux usées industrielles des territoires d'Outre-mer ne sont pas prises en compte car celles-ci sont négligeables en raison des petites activités industrielles.

Les émissions de $CH_4$ sont estimées pour les procédés de traitement spécifiés dans les lignes Directrices 2006 du GIEC [615] présents en France et pour lesquels un MCF non nul est proposé.

**Figure 237 : Potentiel d'émission de $CH_4$ et de $N_2O$ pour les systèmes de traitement et de rejet des eaux usées industrielles**

| Eaux Usées Commerciales & Industrielles | | | $CH_4$ | $N_2O$ |
|---|---|---|---|---|
| Collectées | Sans traitement | | Absent en France | Absent en France |
| | Transfert via les égouts | | Non estimé | Non estimé |
| | Avec traitement | Traitement primaire | 0 | x (procédé)<br>x (rejet) |
| | | Traitement secondaire physico-chimique | | |
| | | Traitement biologique secondaire aérobie | | |
| | | Traitement secondaire avancé (nitrification/denitrification) | | |
| | | Lagunes peu profondes (< 2m) | Absent en France | Absent en France |
| | | Lagunes profondes (> 2m) | Absent en France | Absent en France |
| Non collectées (in situ) | Sans traitement | | Absent en France | Absent en France |
| | Avec traitement | Fosses septiques | x | x (rejet) |
| | | Traitement aérobies | 0 | |
| | | Latrines | Absent en France | |
| | | Lagunes peu profondes (< 2m) | x | x (rejet) |

0 : considéré comme nul (MCF = 0)
x : estimé et non nul

*Graph_5.xlsx*

a.2.1/ Traitement en STEU

Il est considéré que, contrairement aux effluents provenant du secteur résidentiel, les effluents industriels et commerciaux reçus en stations collectives sont intégralement traités dans des conditions aérobies.

Donc aucune émission n'est associée au traitement des eaux industrielles/commerciales en STEU.

a.2.2/ Traitement in situ

De façon similaire à l'approche présentée pour les eaux résidentielles, seuls les procédés de traitement des eaux ayant un MCF non nul sont sources d'émissions de $CH_4$. Les stations d'épuration in-situ sont considérées comme bien gérées. Donc seules les stations d'épuration de type lagunage naturel présentent un MCF non nul et sont considérées. Les lagunes sont peu profondes et le MCF associé est 0,2.

Les plus gros industriels déclarent leurs émissions de DCO dans l'eau en sortie d'usine, qu'il s'agisse d'un rejet après traitement in-situ vers le milieu naturel (dit rejet direct) ou d'un rejet vers une STEU (dit rejet indirect) [436]. D'après ces données, les industries présentes en France les plus émettrices en DCO en sortie d'usine sont l'agroalimentaire et l'industrie du "bois, papier, carton" mais l'usage du lagunage naturel n'est pas adapté aux concentrations élevées en DCO. L'industrie du papier n'utilise pratiquement pas le lagunage naturel, car non en accord avec les meilleurs techniques Disponibles (MTD) définies dans les BREFS, et seules certaines industries agro-alimentaires traitant leurs eaux résiduelles peu chargées in-situ sont susceptibles de recourir à cette technique. Par conséquent, compte tenu du fait que seul le lagunage naturel est considéré comme un procédé émetteur de $CH_4$ et que seules les industries agroalimentaires (IAA) font usage de ce mode de traitement, seules les émissions de $CH_4$ issues de ces sites sont estimées.

Sur la base du registre des émissions polluantes (GEREP) [19], les industries agroalimentaires représentent en 2023, 25,1% des rejets directs en DCO des sites industriels [19].

La base de données des déclarations des émissions dans l'eau (GEREP) fourni des informations concernant les rejets de DCO en sortie des sites. Afin d'éviter la sous-estimation des émissions associées à une élimination de la DCO entre l'entrée et la sortie des eaux usées dans les stations, un taux de rendement variable de la DCO des stations est considéré dans l'inventaire. En effet, un rendement de 80% est considéré en 1990 et de 85% en 2000 [1244]. Pour les années entre 2015 et 2018, ce rendement (proche de 94%) est estimé sur la base des informations communiquées par les agences de l'eau [1234]. Pour les années intermédiaires, ce taux de rendement est estimé par interpolation linéaire.

**Tableau 346 : Demande Chimique en Oxygène (DCO) des industries de l'agroalimentaire (IAA) traitée par lagunage naturel**

| Année | 1990 | 2000 | 2010 | 2015 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|
| DCO des IAA traitées par lagunage naturel (Mg/an) | 2 642 | 7 052 | 10 154 | 7 949 | 6 643 |

En outre, faute de données détaillées sur la part représentée par le lagunage naturel dans le traitement des eaux usées de l'industrie agroalimentaire, on la considère égale à celle en STEU, soit 1,8% en 2022.

L'équation (1) est appliquée pour les eaux industrielles (en fonction de DCO) avec $B_0$ = 0,25 kg/kg DCO.

La charge organique des boues extraites n'est pas connue et est considérée comme nulle ($S_j$ = 0).

Aucun $CH_4$ n'est capté au niveau des lagunes ($R_j$ = 0).

**b. Traitement des boues d'assainissement**

Les boues d'assainissement ont plusieurs destinations :

- la méthanisation sur la station d'épuration,
- la méthanisation en mélange avec d'autres déchets organiques dans des installations de production de biogaz dédiées,
- le compostage en mélange avec d'autres déchets organiques dans des installations de production de compostage dédiées,
- le stockage dans les Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND),
- l'incinération dans des incinérateurs de boues,
- l'incinération en mélange avec d'autres déchets non dangereux.

Seule la méthodologie relative à la méthanisation des boues sur la station d'épuration est présentée ci-après. Les émissions associées à l'ensemble des autres destinations sont prises en compte dans l'inventaire et les méthodologies sont présentées dans les secteurs respectifs.

b.1/ Cas de la méthanisation des boues issues du traitement des eaux usées traitées en STEU

La Base de Données sur les Eaux Résidentielles Urbaines (BD ERU) publiée par le Ministère en charge de l'Environnement [752] contient pour chacune des STEU des informations sur la quantité de boues produites et leur destination de traitement.

Sur les STEU, seul le traitement des boues par le procédé de digestion anaérobie (ou méthanisation) présente des conditions favorables à la production de biogaz.

Sur la base de 2 études sur l'état des lieux de la filière méthanisation, un taux de production de biogaz de 224 $m^3$/tonne de MS traitée jusqu'en 2001 [372] et de 380 $m^3$/tonne de MS traitée à partir de 2010 [564] sont retenus. Entre 2001 et 2010, le taux de production de biogaz est estimé par interpolation linéaire. Une teneur de 68% en $CH_4$ est prise en compte [372].

Le facteur d'émission utilisé est issu d'une étude de l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) [1245] concernant les émissions de GES associées au traitement des boues d'épuration. Celui-ci-est constant sur toute la série temporelle et s'élève à 8,7 m3 de $CH_4$/tonne de MS (5,8 kg $CH_4$/Mg de MS).

b.2/ Cas de la méthanisation des boues issues du traitement des eaux usées traitées in situ

La méthode appliquée est similaire à celles appliquées aux boues méthanisées sur les STEU.

Sur la base de deux études sur l'état des lieux de la filière méthanisation, on considère un taux de production de biogaz de 382 $m^3$/tonne de MS traitée [372] dans le cas des stations industrielles in-situ. Une teneur de 68% en $CH_4$ identique à celle des méthaniseurs de boues de STEU est retenue.

Le facteur d'émission utilisé est issu d'une étude de l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) [1245] concernant les émissions de GES associées au traitement des boues d'épuration. Celui-ci-est constant sur toute la série temporelle et s'élève à 8,7 $m^3$ de $CH_4$/tonne de MS (5,8 kg $CH_4$/Mg de MS).

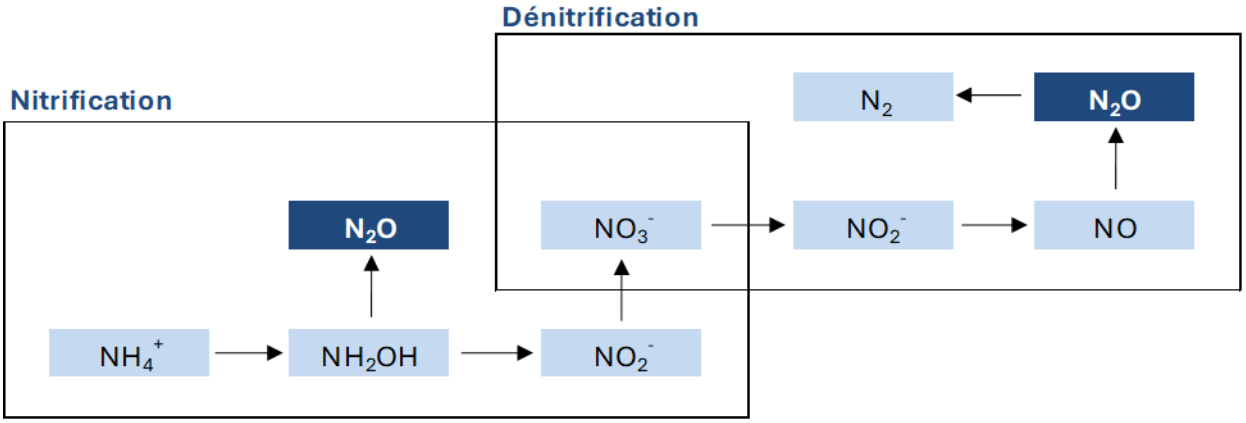
**Tableau 347 : Quantité de boues méthanisées en STEU industrielles**

| Année | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 |
|---|---|---|---|---|
| Quantité de boues méthanisées (Gg de MS) | 370,5 | 405,3 | 369,9 | 455,9 |

***Emissions de $N_2O$***

Les émissions de protoxyde d'azote ($N_2O$) peuvent provenir directement des stations/installations d'épuration ou indirectement à partir d'eaux usées après rejet de l'effluent dans des cours d'eau, des lacs ou dans la mer et résultent des processus de nitrification et de dénitrification.

**Figure 238 : Réactions de transformation de l'azote par nitrification et dénitrification**




La nitrification est la première étape du traitement biologique de l'azote. Elle est réalisée par des bactéries aérobies qui oxydent l'ammoniac ($NH_4^+$) en nitrite ($NO_2^-$) par décomposition chimique d'intermédiaires comme le $NH_2OH$, puis en nitrate ($NO_3^-$). C'est une réaction d'oxydation qui se fait par catalyse enzymique reliée à des bactéries dans l'eau.

La dénitrification se déroule en deux étapes. La réduction des nitrates ($NO_3^-$) en nitrite durant laquelle des bactéries réduisent les nitrates en nitrite ($NO_2^-$) dans des conditions anaérobies. Cette étape permet d'éliminer les nitrates, qui peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques. La seconde étape est la réduction du nitrite ($NO_2^-$) en diazote ($N_2$) par les bactéries. Cette réaction est également anaérobie et nécessite une absence totale d'oxygène dans l'eau.

1/ Traitements des eaux usées résidentielles

Conformément au raffinement de 2019 des lignes directrices de 2006 du GIEC, les émissions de $N_2O$ provenant du traitement et du rejet des eaux usées se composent des éléments suivants :

- Les émissions provenant du traitement des eaux usées, qui se produisent principalement au cours des étapes de nitrification et de dénitrification dans la station d'épuration elle-même ;
- Les émissions directes, qui sont des émissions dues au rejet d'azote provenant des eaux usées traitées et non traitées dans les milieux aquatiques (rivières, canaux, lacs, mers ou océans).

1.1/ Rejet dans le milieu naturel

Les émissions liées au rejet des eaux usées dans le milieu naturel sont calculées de la façon suivante [374] :

$$E_j = N_{effluent_j} \times FE_{N2O-N} \times 44/28$$

avec :

j : type de système de traitement

$N_{effluent_j}$ : Quantité d'azote rejetée dans le milieu naturel par le système j (en kg)

$FE_{N2O-N}$ : Facteur d'émission (0,005 kg $N_2O$-N/kg N [616])

La quantité d'azote rejetée par les habitants dans les eaux usées ($N_{influent}$) dépend de leur consommation en protéines [435] & [1246] et de la teneur en azote des protéines. La teneur en azote des protéines recommandée par les lignes directrices du GIEC 2006 [374] (0,16 g N / g protéines) est appliquée.

1.1.1/ Cas des rejets des stations collectives

Les stations d'épuration éliminent une grande partie de l'azote sous forme de $N_2$. Le rendement d'élimination de l'azote (R) a évolué avec le temps, de 37% en 1990 à 76% depuis 2018 [1234] avec pour conséquence une diminution des émissions liées au rejet des eaux traitées au fil des ans.

$$N_{effluent} = N_{influent} \times (1 - R_{STEU})$$

avec :

$R_{STEU}$ : Taux moyen d'abattement en azote des STEU

$N_{effluent}$ : Quantité d'azote rejeté dans le milieu naturel par les STEU

$N_{influent}$ : Quantité d'azote rejeté par la population dans les eaux usées

1.1.2/ Autres traitements et rejets directs

Pour les autres traitements et pour le rejet direct, on considère :

$$N_{effluent} = N_{influent} - N_{sludge}$$

avec :

$N_{effluent}$ : Quantité d'azote rejeté dans le milieu naturel par les STEU

$N_{influent}$ : Quantité d'azote rejeté par la population dans les eaux usées

$N_{sludge}$ : Quantité d'azote dans les boues extraites

La valeur par défaut proposée pour $N_{sludge}$ dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC ($N_{sludge}$ = 0) est utilisée.

La France n'utilise pas la valeur FNON-CON (par défaut égale à 1,4 et correspondant à la nourriture non consommée envoyée dans le réseau) indiquée dans les Lignes directrices du GIEC 2006 pour les pays développés équipés de broyeurs car elle n'utilise pas ce type d'équipement. Néanmoins, le facteur pour la protéine non consommée FNON-CON proposé par défaut par le GIEC 2006 pour les pays en voie de développement (1,1) est appliqué aux territoires d'Outre-mer (pas d'usage de sanibroyeur).

1.2/ Traitements des Stations de Traitement des Eaux Usées (STEU)

Les émissions dues au traitement des eaux usées en STEU sont quantifiées à l'aide de l'équation 6.9 mise à jour dans le raffinement de 2019 des lignes directrices de 2006 du GIEC.

$$\boldsymbol{Emissions\ de\ N_2O\ des\ STEU} = [\sum_{i,j}(\boldsymbol{U_i} \times \boldsymbol{T_{i,j}} \times \boldsymbol{EF_j})] \times \boldsymbol{TN_{DOM}} \times \frac{\mathbf{44}}{\mathbf{28}}$$

*Où:*

| | | |
|---|---|---|
| *E.$N_2O$ STEU* | = | *émissions de $N_2O$ provenant des stations d'épuration des eaux usées domestiques au cours de l'année d'inventaire, en kg $N_2O$/an.* |
| *$TN_{DOM}$* | = | azote total dans les eaux usées domestiques au cours de l'année d'inventaire, en kg N/an |
| *$U_i$* | = | fraction de la population dans le groupe de revenu i au cours de l'année d'inventaire. |
| *$T_{i,j}$* | = | degré d'utilisation de la voie de traitement/de sortie ou du système j, pour chaque fraction de groupe de revenu i au cours de l'année d'inventaire. |
| *i* | = | groupe de revenu |
| *j* | = | chaque voie ou système de traitement/décharge |
| *$EF_j$* | = | facteur d'émission pour la voie ou le système de traitement/d'évacuation j, kg $N_2O$-N/kg N |
| *44/28* | = | facteur de conversion des kg de $N_2O$-N en kg de $N_2O$. |

Le facteur d'émission de 0,016 kg $N_2O$-N/kg N effluent proposé par le raffinement de 2019 des Lignes Directrices 2006 du GIEC [1284] est appliqué pour les STEU dites « avancées » pour les « non avancées ».

Les filtres plantés mis en œuvre en France sont assimilables aux Horizontal Subsurface Flow (VSSF) présentés dans le supplément 2013. Le FE proposé par le supplément de 2013 et retenu pour l'inventaire est de 0,00023 kg$N_2O$-N/kg N.

2/ Traitement des eaux usées industrielles

2.1/ Rejet dans le milieu naturel des eaux industrielles traitées en STEU

Une méthodologie similaire à celle appliquée pour le traitement des eaux usées résidentielles est utilisée pour les eaux industrielles traitées en STEU collectives.

La quantité d'azote par les industries raccordées aux STEU ($N_{influent}$) est issue des déclarations annuelles des émissions dans l'eau rapportées par les exploitants (rejets dit « indirects ») [436].

**Tableau 348 : Rejets d'azote des eaux industrielles vers des STEU (Mg N/an)**

| Année | 1990 | 2000 | 2010 | 2015 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|
| Rejets d'azote des eaux usées industrielles vers des STEU (Mg N/an) | 1 571 | 1 439 | 1 897 | 1 042 | 1 647 |

2.2/ Rejet dans le milieu naturel des eaux industrielles traitées in-situ

Pour les eaux industrielles traitées in-situ les émissions sont calculées sur la base de la charge sortante en azote des sites non raccordés à une STEU (dits « isolés ») et du facteur d'émission du GIEC (0,005 g N-$N_2O$/g N) [616].

La quantité d'azote par les industries non raccordées aux STEU ($N_{effluent}$) est issue des déclarations annuelles des émissions dans l'eau rapportées par les exploitants (rejets dit « directs ») [245, 375, 436].

**Tableau 349 : Rejets d'azote des eaux industrielles vers les milieux naturels (Mg N/an)**

| Année | 1990 | 2000 | 2010 | 2015 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|
| Rejets d'azote des eaux usées industrielles vers les milieux naturels (Mg N/an) | 11 956 | 11 613 | 11 050 | 8 807 | 7 481 |

2.3/ Traitements des eaux industrielles stations d'épuration in situ « avancées »

Les sites industriels sont considérés comme ne disposant pas de stations d'épuration « avancées » avec des étapes de nitrification/dénitrification.

## 7.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2ème niveau de la catégorie (i.e. 5D).

Concernant l'incertitude sur l'activité de la catégorie 5D, elle est évaluée à 35%, au vu de la difficulté d'estimer précisément les différents paramètres de l'équation utilisée.

Pour les mêmes raisons, l'incertitude sur les facteurs d'émission est également élevée, 100% que ce soit pour le $CH_4$ ou pour le $N_2O$.

La cohérence temporelle est respectée, la méthodologie utilisée est appliquée à l'ensemble de la période et le périmètre et les sources statistiques de données sont les mêmes.

## 7.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées. Certains paramètres, en particulier le rendement en azote des STEU, ont été soumis au MTE pour validation.

Les statistiques recueillies entrent dans le champ de l'assurance qualité de l'organisme émetteur. Le Citepa effectue également des vérifications internes sur la cohérence des séries dans le temps.

## 7.5.5 Recalculs

**Impact des recalculs du CRT 5D**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 2 222 | 2 575 | 2 794 | 2 599 | 2 533 | 2 528 | 2 475 | 2 416 | 2 357 | 2 337 | 2 368 | 2 383 | 2 444 | 2 443 | 2 427 | 2 435 | 2 435 | 0 |
| Nouveau | kt CO2e | 3 612 | 3 943 | 4 220 | 4 210 | 4 484 | 4 477 | 4 383 | 4 306 | 4 256 | 4 336 | 4 318 | 4 343 | 4 374 | 4 314 | 4 301 | 4 351 | 4 295 | 4 229 |
| Différence | kt CO2e | +1 390 | +1 368 | +1 427 | +1 611 | +1 951 | +1 949 | +1 908 | +1 890 | +1 900 | +1 999 | +1 950 | +1 961 | +1 930 | +1 871 | +1 875 | +1 916 | +1 859 | +4 229 |
| | % | +63% | +53% | +51% | +62% | +77% | +77% | +77% | +78% | +81% | +86% | +82% | +82% | +79% | +77% | +77.25% | +79% | +76% | - |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /5.D

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

**Description des recalculs**

Dans le cadre des échanges liés à la revue ESR et particulièrement concernant le point FR-5D-2024-000, le Citepa a échangé avec l'expert déchets Hans Oonk. Dans ce cadre, il a été mis en avant que la mise en application du raffinement 2019 des Lignes Directrices de 2006 du GIEC n'était pas complètement aboutie.

Pour rappel, les émissions de $N_2O$ associées au traitement et au relargage des eaux usées proviennent de différentes sources.

1. Les émissions provenant du traitement des eaux usées, qui se produisent principalement pendant les étapes de nitrification et de dénitrification à la station d'épuration elle-même ;
2. Les émissions directes, c'est-à-dire les émissions dues au rejet d'azote dans les milieux aquatiques (rivières, canaux, lacs, mers ou océans) à partir d'eaux usées traitées et non traitées.

Dans les Lignes Directrices de 2006, seules les STEP « avancées » de types nitrification/dénitrification étaient considérées comme émettrices. Le raffinement de 2019, en plus de modifier le facteur d'émission du N2O associé au traitement en STEP, est élargi à toutes les STEP y compris les STEP non définies comme des STEP « avancées » de types nitrification/dénitrification.

Or le Citepa n'avait pas intégré ce dernier changement qui n'était pas explicite dans le raffinement. Les discussions avec Hans Oonk ont permis d'éclaircir ce point dans le courant du mois d'octobre.

En parallèle, le nouveau facteur d'émission du $N_2O$ appliqué aux STEP a été mal interprété par le Citepa et il est également nécessaire de revoir les émissions de $N_2O$ liées aux STEP « avancées » de types nitrification/dénitrification.

Ces changements induisent une hausse des émissions de $N_2O$ pour les eaux usées domestiques et industrielles sur la totalité de la période temporelle considérée dans l'inventaire.

**Figure 239 : Emissions de N2O (Mg) liées au traitement et au relargage des eaux usées industrielles France métropolitaine (SNAP 091001 / CRT 5D2)**

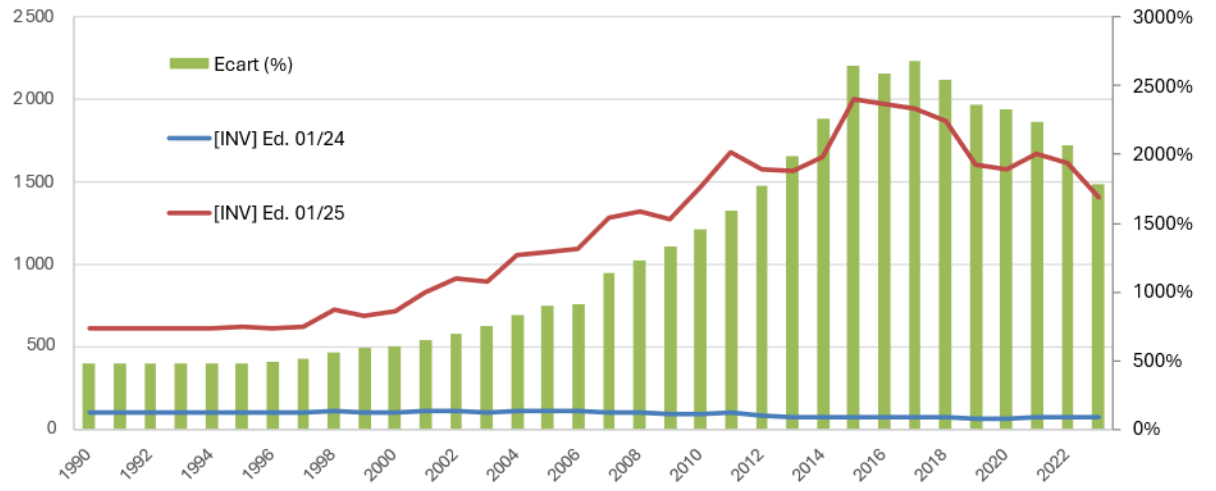
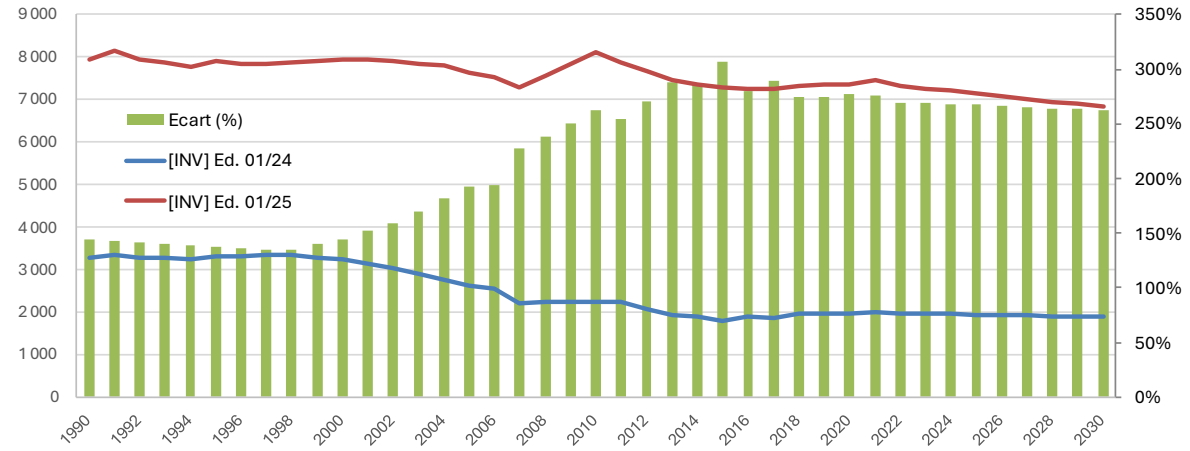



**Figure 240 : Emissions de N2O (Mg) liées au traitement et au relargage des eaux usées domestiques en France métropolitaine (SNAP 091002 / CRT 5D2)**




Ce changement induit un ajout de 1.3 $MtCO_2e$ en 1990 et 1.8 $MtCO_2e$ en 2022.

Toutes choses étant égales par ailleurs, ces émissions supplémentaires représentent entre 2,7% et 7,7% par rapport aux émissions de $N_2O$ inventoriées dans l'édition de janvier 2024.

**Tableau 350 : Ajout des émissions de $N_2O$ liées aux changements méthodologiques par rapport aux émissions (hors UTCATF) de $N_2O$ rapportées dans l'inventaire édition 2024**

| Année | Ajout ($ktCO_2e$) | Emissions de $N_2O$ ($ktCO_2e$) hors UTCATF dans l'édition 2024 | Ajout (%) |
|---|---|---|---|
| 1990 | 1 375 | 51 497 | 2,7% |
| 2000 | 1 407 | 41 374 | 3,4% |
| 2010 | 1 922 | 29 131 | 6,6% |
| 2020 | 1 838 | 26 101 | 7,0% |
| 2022 | 1 822 | 24 697 | 7,7% |

**Raisons et justifications**

Amélioration de l'exactitude.

## 7.5.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2022, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| Sector / CRF category / issue | Review recommendation | Review report/ paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| **Waste**<br>5.D.1 Domestic wastewater – CH4 (W. 12, 2021), (W. 13, 2019), (W.10, 2017) (W.25, 2016) (W.25, 2015)<br>Accuracy | Follow the decision tree in the 2006 IPCC Guidelines regarding the value for Bo and MCF when estimating CH4 emissions from domestic wastewater.<br>Not resolved. The Party reported in its NIR (p.761) and in CRF table Summary 3 (sheet 2) that it used IPCC default values for Bo and the methane correction factor for estimating CH4 emissions from domestic wastewater. The ERT notes that CH4 emissions from domestic wastewater were identified as a key category, both in the level and trend assessments. The ERT also notes that the 2006 IPCC Guidelines provide guidance in a decision tree (vol. 5, chap. 6, figure 6.2, p.6.10) regarding the choice of values for Bo and the methane correction factor, which the Party did not follow for its calculations. During the review, the Party clarified that there are currently no country-specific data available for the methane correction factor and Bo and it is in the process of developing the values. The ERT notes that the use of IPCC default values for Bo and the methane correction factor does not lead to an underestimation of emissions. | 2022 Review ARR / W.10 | Not implemented.<br>France does not have country specific values for MCF and B0. |
| **Waste**<br>5.D.2 Industrial wastewater – CH4 | The Party reported in its NIR (p.763) the methane correction factor and COD values used for estimating CH4 emissions from industrial wastewater for 2020. The Party highlighted that for shallow natural lagoon-type wastewater treatment plants for the food industry it used a methane correction factor of 0.2 and a COD value of 29.2 per cent provided on GEREP (the French electronic register for pollutant emissions) in response to an encouragement in the 2021 review report (ID# W.19). The Party further reported that owing to a lack of data, the share represented by natural lagoons in the treatment of wastewater from the agri-food industry was assumed to be equal to the share of natural lagoons in wastewater treatment plants. During the review, the Party indicated that related improvements are ongoing and that it will further investigate this issue in order to formulate a hypothesis on the elimination of COD by lagoons and improve the accuracy of the calculation of CH4 emissions. The ERT reiterates the encouragement from the previous review report for the Party to improve its calculation of CH4 emissions from lagoons under category 2.D.2 industrial wastewater by establishing the share of wastewater from the agrifood industry that uses natural lagoons and by estimating the COD values for "in situ" stations for natural lagoons. | 2022 Review ARR / W.14 | Not yet implemented. France need to investigate for more information. |

Suite à la revue de l'UE de 2024, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

| CRT category / issue | Review recommendation, technical correction or revised estimate | Review report / paragraph | MS response / status of implementation |
|---|---|---|---|
| FR-5D-2024-0001 | Thank you very much for your reply and additional information provided. We do not have a follow up question. Note that this issue is considered as partly resolved. Therefore, we recommend that you keep on | EMRT UE review plateform | Implemented. The emissions calculations for "Domestic Wastewater Treatment and Discharge", have been reviewed with a better understanding of the right implementation of the IPCC 2019 refinements, for the 2025 submisison. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | working on the issue and check the implementation of the 2019 Refinement. Indeed, regarding your answer, the F = fraction of the population managing their septic tank in compliance with the sludge removal instruction of their septic system (65% in your example) has to be applied to the parameter Sseptic. So, in the TERT understanding, the organic load that will decompose anaerobically in septic tanks (EQUATION 6.1 (UPDATED)) will be (TOW-S) = TOW x (1-0.5xF) = TOW x 0.675. | | |

## 7.5.7 Améliorations envisagées

Les améliorations suivantes sont envisagées à moyen terme :

Prise en compte des émissions de $CH_4$ d'autres types de lagunes (filtres plantés notamment) et si possible sur la base d'études nationales.

Recherche sur l'utilisation d'une valeur de MCF spécifique à la France pour les fosses septiques.

# 8. AUTRES

Ce chapitre fournit des informations sur l'isobutane, le propane et les HFO utilisés comme fluides frigorigènes mais non comptabilisés dans le total national des inventaires d'émissions.

## 8.1 Caractéristiques de la catégorie

L'isobutane (R-600a) est, depuis janvier 2015, le seul réfrigérant utilisé dans les équipements de froid domestique mis sur le marché européen, en remplacement du HFC-134a. Pendant la revue de l'inventaire français de septembre 2012, l'ERT a encouragé la France à rapporter les émissions d'isobutane dans son inventaire bien que cette substance ne soit pas couverte dans l'IPCC GPG 2000 ou l'IPCC 1996. L'impact de cette substance sur le climat n'est pas neutre et un PRG de 3 est utilisé (source : REGULATION (EU) n° 517/2014 of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases).

Le propane, de formule chimique $C_3H_8$, est aussi utilisé comme fluide réfrigérant dans certaines applications (climatisation fixe, pompe à chaleur, froid commercial). Son PRG est non nul selon le même règlement européen (PRG = 5).

Le HFO-1234yf est utilisé en remplacement du HFC-134a dans les climatisations des nouveaux véhicules automobiles depuis 2017. Son parc d'équipements augmente donc très rapidement. Selon l'AR5, son PRG est inférieur à 1 alors que le règlement européen (plus ancien) indique un PRG égal à 4.

Le HFO-1234ze est notamment utilisé en remplacement des HFC dans les climatisations fixes et les chillers. Son utilisation augmente significativement cependant, les émissions restent peu élevées, les taux d'émissions des équipements utilisateurs étant faibles. Selon l'AR5, son PRG est inférieur à 1 alors que le règlement européen (plus ancien) indique un PRG égal à 7.

Les émissions d'isobutane, de propane, de HFO-1234yf et de HFO-1234ze sont estimées par le Citepa mais ne sont pas rapportées dans le CRT Reporter. Elles sont décrites dans la présente section à titre informatif. A noter que le HFO-1234ze est également utilisé depuis peu dans les aérosols techniques et agent d'expansion de mousses mais dans des quantités plus faibles.

## 8.2 Méthode d'estimation des émissions

La méthodologie de calcul est identique pour toutes les émissions de fluides frigorigènes (cf. chapitre 4.7).

- Les émissions d'isobutane sont en augmentation continue sur la période, passant de 0 tonne en 1994 à 87 tonnes en 2023 ;
- Les émissions de propane sont également en constante augmentation mais à degré moindre, passant de 0 en 2005 à 37 tonnes en 2023 ;
- Les émissions de HFO-1234yf sont en rapide augmentation, passant de 0 t en 2013 à 654 tonnes en 2023 ;
- Les émissions de HFO-1234ze sont en rapide augmentation, passant de 0 t en 2013 à 30 tonnes en 2023.

## 8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'incertitude sur l'activité et le facteur d'émission est la même que celle évaluée pour les HFC des fluides frigorigènes dans le chapitre 4.7.

## 8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

## 8.5 Recalculs

Pas de recalcul.

## 8.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration envisagée

# 9. EMISSIONS INDIRECTES DE $CO_2$ ET $N_2O$

## 9.1 Caractéristiques de la catégorie

Suite à une recommandation de la revue CCNUCC de 2022, les émissions indirectes de $CO_2$ issues des émissions de COVNM des solvants sont rapportées en tant qu'émissions indirectes dans la table 6.

Les émissions indirectes de $N_2O$ ne sont pas estimées hormis celles des sols agricoles intégrées dans le secteur agriculture (CRT 3).

## 9.2 Méthode d'estimation des émissions

Pour la méthode d'estimation des émissions de CO2 indirect, se référer aux chapitres descriptifs des CRT 2D3 et 2G4.

## 9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

Pour les incertitudes et la cohérence temporelle des séries, se référer aux chapitres descriptifs des CRT 2D3 et 2G4.

## 9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Non concerné

## 9.5 Recalculs

**Impact des recalculs des émissions indirectes**

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 1 657 | 1 502 | 1 531 | 1 247 | 998 | 976 | 884 | 882 | 916 | 825 | 818 | 864 | 813 | 803 | 827 | 834 | 848 |
| Nouveau | kt CO2e | 1 659 | 1 504 | 1 532 | 1 248 | 1 000 | 977 | 885 | 884 | 917 | 827 | 821 | 866 | 815 | 804 | 830 | 786 | 856 |
| Différence | kt CO2e | +1.6 | +1.4 | +1.2 | +1.2 | +1.3 | +1.6 | +1.6 | +1.9 | +1.8 | +1.7 | +2.2 | +1.8 | +1.7 | +1.3 | +2.9 | -48 | +7.7 |
| | % | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | +0% | -6% | +1% |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /Indirects

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

Le recalcul des émissions indirectes de $CO_2$ est dû principalement à la mise à jour des données statistiques (population, production, importation et exportation), en particulier pour les années 2021 et 2022, pour différentes activités, y compris la fabrication de produits pharmaceutiques, la fabrication de pneumatiques, le dégraissage, l'utilisation d'encre, l'application de peinture, l'utilisation domestique de solvants et la préservation du bois.

## 9.6 Améliorations envisagées

L'estimation des émissions indirectes de $N_2O$ serait envisageable en fonction des discussions futures du comité Changement Climatique de l'UE, dans l'optique d'une position commune des Etats membres de l'UE.

# 10. RECALCULS ET AMELIORATIONS

Suite aux demandes des revues CCNUCC et également UE, des efforts réguliers sont réalisés par la France pour rendre son rapport d'inventaire plus transparent. Ainsi, l'intégralité des méthodologies de calculs se trouve dans le NID et il n'y a plus de référence méthodologique au rapport OMINEA. De plus, une base de données comportant les facteurs d'émission et les données d'activités est fourni en annexe électronique du NID. Dans certaines parties sectorielles, des paramètres et données ont été ajoutées afin d'améliorer la compréhension des calculs réalisés dans l'inventaire. Enfin, des tableaux de recalculs à un niveau fin du CRT sont générés afin de pouvoir justifier les modifications apportées à l'inventaire.

Récapitulatif des principaux changements dans les descriptifs méthodologiques et les chapitres de l'édition NID 2025 comparés au NID 2024.

**Tableau 351 : Résumé des modifications des descriptions méthodologiques et des recalculs**

| **Member State:** | **France** | | |
|---|---|---|---|
| **Reporting year:** | **2025** | | |
| GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES | DESCRIPTION OF METHODS | RECALCULATIONS | REFERENCE |
| | Please **mark the relevant cell** where the latest NIR includes major changes in methodological descriptions compared to the NIR of the previous year | Please **mark the relevant cell** where this is also reflected in recalculations compared to the previous years' CRT | If the cell is marked please provide a reference to the relevant section or pages in the NIR and if applicable some more detailed information such as the sub-category or gas concerned for which the description was changed. |
| **Total (Net Emissions)** | | | |
| **1. Energy** | | | |
| A. Fuel Combustion (sectoral approach) | | | |
| 1. Energy industries | | x | 1A1a district heating (section 3.2.5.5) revision of natural gas consumptions allocated to heat autoproducers for 2021 and 2022 (increase) |
| 2. Manufacturing industries and construction | | x | 1A2 (section 3.2.6) revision of coal consumptions for autoproducers for 1990-2020 (decrease of -100/-150 kt CO2) transferred to tertiary (1A4a) and changes in national energy balances for 2011-2022, in particular natural gas consumptions for autoproducers for 2021-2022 (large decrease, about -750 kt CO2e for 2021 and -1250 kt CO2 in 2022). |
| 3. Transport | x | x | 1A3d (section 3.2.7.2.2) – inland shipping – update of the methodology for the repartition between international and domestic traffic – large increase of emissions from 1990 (+1270 kt CO2) to 2022 (+370 kt CO2) 1A3b (section 3.2.7.2.2) - road transport - update of traffic data – impact on 1990-2022, and in particular on 2010-2022 with about +200-250 kt CO2 |
| 4. Other sector | x | x | 1A4b (section 3.2.8.5) - revision of the CH4 emission EF of recent and efficient appliances for solid biomass combustion – impact (increase) for 2006-2022, in particular for 2010-2022 with about +400-750 kt CO2e<br>1A4a (section 3.2.8.5) – revision of coal consumption for autoproducers for 1990-2020 (increase of 100-150 kt CO2) transferred from industry<br>1A4a and 1A4b (section 3.2.8.5) – revision of liquid fuel consumptions for 2011-2022 (increase) with significant impact |
| 5. Other | | | |
| B. Fugitive emissions from fuels | | | |
| 1. Solid fuels | | | |
| 2. Oil and natural gas and other emissions from energy production | | | |
| C. CO2 transport and storage | | | |
| **2. Industrial processes and product use** | | | |
| A. Mineral industry | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| B. Chemical industry | | | |
| C. Metal industry | | | |
| D. Non-energy products from fuels and solvent use | | | |
| E. Electronic industry | | | |
| F. Product uses as substitutes for ODS | | | |
| G. Other product manufacture and use | | | |
| H. Other | | | |
| **3. Agriculture** | | | |
| A. Enteric fermentation | x | x | 3A (section 5.2, CH4 : new parameter for dairy cows, net energy for maintenance) |
| B. Manure management | | x | 3B (section 5.3, CH4 : new parameter for dairy cows, volatile solid) |
| C. Rice cultivation | | | |
| D. Agricultural soils | | x | 3D (section 5.5, new EMEP emission factors for N2O) |
| E. Prescribed burning of savannahs | | | |
| F. Field burning of agricultural residues | | | |
| G. Liming | | | |
| H. Urea application | | | |
| I. Other carbon containing fertilisers | | | |
| J. Other | | | |
| **4. Land use, land-use change and forestry** | | | |
| A. Forest land | x | x | 4A (section 6.4) Tier 3 method for deadwood emissions (previously in Tier 1 equilibrium) |
| B. Cropland | | x | 4B (section 6.5) Land use change modifications (among which forest land converted to crop land with important impact). |
| C. Grassland | | x | 4C (section 6.6) Land use change modifications (among which forest land converted to grassland with important impact). |
| D. Wetlands | | x | 4D (section 6.7) Land use change improvements |
| E. Settlements | | x | 4E (section 6.8) Land use change improvements |
| F. Other land | | | |
| G. Harvested wood products | | | |
| H. Other | | | |
| **5. Waste** | | | |
| A. Solid waste disposal | | | |
| B. Biological treatment of solid waste | | | |
| C. Incineration and open burning of waste | | | |
| D. Wastewater treatment and discharge | x | x | section 7.5 |
| E. Other | | | |
| **6. Other (as specified in Summary 1.A)** | | | |

# 10.1 Explications et justifications concernant les nouveaux calculs

Chaque année, un certain nombre de révisions sont apportées aux résultats des inventaires, elles sont de deux ordres : d'une part, méthodologiques et, d'autre part, statistiques. Ces modifications répondent à la fois aux exigences des Nations unies et s'inscrivent dans un processus d'amélioration continue permettant de réduire les incertitudes et d'apporter une meilleure fiabilité aux inventaires.

**Les principales justifications motivant les révisions annuelles sont :**

- les mises à jour rétroactives des statistiques : la dernière année de l'inventaire correspond à l'année n-2 pour une soumission le 15 avril de l'année n aux Nations unies. Or, quelques statistiques (e.g. enquêtes sur le chauffage urbain) ne sont pas disponibles pour l'année n-2 lors de la compilation de l'inventaire au dernier trimestre de l'année n-1. Dans certains cas, pour les données relatives à l'agriculture ou à l'UTCATF, les séries statistiques historiques peuvent être révisées entièrement. Dans d'autres cas, tel que pour les quantités de déchets traités par filière, les enquêtes ont lieu tous les deux ans ;
- les ruptures statistiques : dès l'arrêt de la diffusion d'une statistique, une méthode alternative est développée ;
- les améliorations méthodologiques consécutives :
    - aux décisions prises par le Groupe de concertation et d'information sur les inventaires nationaux d'émissions piloté par le Ministère chargé de l'Environnement,
    - aux remarques faites lors des revues officielles des Nations unies et de la Commission européenne sur l'inventaire de la France (voir tableau en annexe 9),
    - aux conclusions des procédures d'assurance qualité,
    - à la disponibilité de nouvelles règles d'estimation et/ou de notification des émissions,
    - à la disponibilité de nouvelles informations ;
- les corrections d'erreurs et d'anomalies ;
- la prise en compte d'une nouvelle source d'émission.

Après chaque soumission de l'inventaire, le programme d'amélioration continue est révisé en traitant prioritairement les catégories clés.

Les modifications apportées sont appliquées rétrospectivement à l'ensemble de la série historique des émissions depuis 1990, année de référence des inventaires, ceci permettant d'assurer la cohérence des émissions sur l'ensemble de la période étudiée conformément aux exigences de la CCNUCC.

Toutes les révisions effectuées lors d'une nouvelle édition de l'inventaire sont au préalable soumises à l'approbation du Groupe de concertation et d'information sur les inventaires nationaux d'émissions piloté par le Ministère chargé de l'Ecologie.

La nature des révisions (recalculs) apportées à cette nouvelle édition de l'inventaire est précisée en détails dans les chapitres relatifs à chaque catégorie CRT (cf. chapitres 3 à 9). Les comparaisons sont réalisées entre la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025. Ainsi, des différences peuvent exister entre les résultats indiqués dans les tables 8 du CRT qui comparent deux éditions successives des tables CRT (pouvant contenir, par exemple, des modifications engendrées par un Saturday Paper identifié lors d'une revue annuelle).

La nature des révisions (recalculs) apportées à cette nouvelle édition de l'inventaire est précisée en détails dans les chapitres relatifs à chaque catégorie CRT (cf. chapitres 3 à 9). Les impacts des recalculs par grand secteur CRT sont présentés dans l'annexe 7.

## 10.2 Incidences sur les niveaux d'émissions

L'impact de l'ensemble des révisions est récapitulé dans les tableaux suivants. Seules les années 1990 et 2022 (dernière année de l'édition précédente des inventaires) sont présentées bien que les changements puissent affecter l'ensemble de la période selon les cas.

Remarque importante : Les comparaisons sont réalisées entre la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025. Ainsi, des différences peuvent exister entre les résultats indiqués dans les tables 8 du CRT qui comparent deux éditions successives des tables CRT (pouvant contenir, par exemple, des modifications engendrées par un Saturday Paper identifié lors d'une revue annuelle, ceci n'a cependant pas été le cas en 2024). Les recalculs sont présentés dans cette section entre deux éditions au PRG de l'AR5.

Les changements introduits entre les soumissions CCNUCC de mars 2025 et mars 2024 donnent globalement au périmètre France UE :

- Pour les émissions de $CO_2$ hors UTCATF, des écarts négligeables de +0,3 % en 1990 et 0,7 % en 2022 sont observés. Avec l'UTCATF, les recalculs sont inverses et plus importants, avec -0,8% en 1990 et -4,6 % en 2022, notamment en lien avec l'intégration de l'effet tampon du bois mort sur les émissions des forêts, qui entraîne une révision à la hausse du puits de carbone.

- Pour le $CH_4$, les émissions en $CO_2e$ varient de +5,1 % en 1990 et +5,8 % en 2022 hors UTCATF, principalement liée à l'application de la nouvelle méthode pour l'estimation du méthane entérique et de la gestion des déjections des vaches laitières (CRT 3A et 3B).
- Pour le $N_2O$, les variations hors UTCATF sont relativement marquées, avec +3,7 % en 1990 et +8,4 % en 2022, dues aux modifications méthodologiques apportées au traitement des eaux usées et au relargage (GIEC 2019), ainsi qu'à l'ajout des émissions de $N_2O$ liées aux STEP non avancées et à la modification méthodologique des estimations des émissions de $N_2O$ liées aux STEP avancées.
- Entre les deux dernières soumissions d'inventaire, il n'y a pas de recalcul en 1990 pour les émissions de HFC, et ces dernières varient de manière minime (+0,5 %) en 2022.
- Il n'y a pas de recalcul lié aux émissions de PFC en 1990, mais les émissions varient de 1,9 % en 2022, dues à la modification d'une déclaration dans le CRT 2E.
- les variations sur les émissions de $SF_6$ sont nulles en 1990 et de -1,6 % en 2022, dues à la modification d'une déclaration dans le CRT 2E.
- Il n'y a pas de recalcul lié aux émissions de $NF_3$ en 1990. En revanche, les recalculs en 2022 sont de -48,8 %, dus à la correction d'une valeur en 2022 dans le CRT 2E.
- Au total, les émissions exprimées en $CO_2$ équivalent hors UTCATF sont corrigées de +1,3 % en 1990 et de 2,0 % en 2022. Ces corrections sont moins visibles avec l'UTCATF inclus en 1990 où les émissions en $CO_2$ équivalent sont corrigées de 0,6 %, pour les raisons évoquées ci-dessus (pour 2022, la différence entre les deux éditions est de -2,0 %).

**Tableau 352 : Écart en émissions entre la version de mars 2024 et celle de mars 2025 (pour les années 1990 et 2022) – périmètre France UE**

**ECART ENTRE LES VERSIONS DES EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE (périmètre UE[f])**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 serre/comp-méth.xlsx

| Substance | Unité | année 1990 | | année 2022 | | *1990* | *2022* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Version mars 2024 | Version mars 2025 | Version mars 2024 | Version mars 2025 | *écart entre les deux versions* | |
| $CO_2$ hors UTCATF[c] (dont $CO_2$ indirect) | Mt | 399 | 400 | 303 | 305 | *0.3%* | *0.7%* |
| $CO_2$ net[a] | Mt | 378 | 375 | 282 | 269 | *-0.8%* | *-4.6%* |
| $CH_4$ hors UTCATF[c] | kt | 2 782 | 2 924 | 2 077 | 2 199 | *5.1%* | *5.8%* |
| $CH_4$ net[a] | kt | 2 804 | 2 947 | 2 108 | 2 226 | *5.1%* | *5.6%* |
| $N_2O$ hors UTCATF[c] | kt | 196 | 203 | 94 | 102 | *3.7%* | *8.4%* |
| $N_2O$ net[a] | kt | 203 | 211 | 98 | 105 | *3.5%* | *7.8%* |
| HFC | Mt $CO_2$e | 4.2 | 4.2 | 9.1 | 9.2 | *0.0%* | *0.5%* |
| PFC | Mt $CO_2$e | 4.7 | 4.7 | 0.3 | 0.3 | *0.0%* | *1.9%* |
| $SF_6$ | t | 95 | 95 | 20 | 20 | *0.0%* | *-1.6%* |
| $NF_3$ | t | 1.0 | 1.0 | 1.6 | 0.8 | *0.0%* | *-48.8%* |
| $CO_2$e hors UTCATF[b][c] | Mt $CO_2$e | 539 | 547 | 396 | 403 | *1.3%* | *2.0%* |
| $CO_2$e net[a][b] | Mt $CO_2$e | 521 | 524 | 377 | 369 | *0.6%* | *-2.0%* |

(*) Les émissions du trafic maritime international et du trafic aérien international sont exclues.

(a) comprend l'UTCATF (utilisation des terres, changements d'affectation des terres et forêt)

(b) AR5 : Emissions $CO_2$ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 5ème rapport du GIEC (GIEC 2014 - AR5).

PRG: $CO_2$ = 1 ; $CH_4$ = 28 ; $N_2O$ = 265 ; $SF_6$ = 23500 ; $NF_3$ = 16100 ; HFC et PFC = valeurs variables dépendantes de la composition des gaz.

(c) utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (LULUCF en anglais)

| Indicateur | année 1990 | | année 2022 | | *1990* | *2022* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Version mars 2024 | Version mars 2025 | Version mars 2024 | Version mars 2025 | *écart entre les deux versions* | |
| Population (1000 hab.)[e] | 56 577 | 58 248 | 67 974 | 67 837 | *3.0%* | *-0.2%* |
| PIB ($10^9$ € courants)[e] | 1 052 | 1 053 | 2 562 | 2 498 | *0.0%* | *-2.5%* |

(e) source INSEE

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

# 10.3 Incidences sur l'évolution d'émissions

En comparant les évolutions observées entre l'année de référence 1990 et la dernière année commune aux deux dernières éditions des inventaires, à savoir l'année 2022, les observations suivantes sont émises :

- Dans cette nouvelle édition, de 1990 à 2022, les évolutions des émissions nettes exprimées en $CO_2$ diffèrent de près de 3% par rapport aux anciennes tendances (-28,1 % actuellement vs -25,2 % dans l'édition précédente),
- Les évolutions du NF3 enregistrent un fort changement entre les deux éditions : l'évolution est actuellement de -15,8 % alors qu'elle était de +64,4 % dans l'édition précédente, en lien avec la modification d'une valeur à l'année 2022.
- Les changements sont assez faibles pour le $N_2O$ et les HFCs sur les émissions hors UTCATF, ainsi que pour le $CH_4$, les PFC et le $SF_6$,

- Au total, l'évolution des émissions exprimées en $CO_2$ équivalent hors UTCATF entre 1990 et 2022 varient de -26,7 % dans l'édition précédente à -26,2 % pour l'édition 2025, alors que l'évolution des émissions UTCATF inclus varient de -27,6 % dans l'édition passée à -29,5 % pour cette édition.

**Tableau 353 : Écart en évolution entre la version de mars 2024 et celle de mars 2025 - périmètre France UE[f]**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 serre/comp-méth.xlsx

| Substance | Ecart /1990 | |
|---|---|---|
| | Version mars 2024 | Version mars 2025 |
| **$CO_2$ hors UTCATF[c]** | -24.1% | -23.7% |
| **(dont $CO_2$ indirect)** | | |
| **$CO_2$ net[a]** | -25.2% | -28.1% |
| **$CH_4$ hors** | -25.3% | -24.8% |
| **$CH_4$ net[a]** | -24.8% | -24.4% |
| **$N_2O$ hors** | -51.8% | -49.7% |
| **$N_2O$ net[a]** | -52.0% | -50.0% |
| **HFC** | 115.6% | 116.7% |
| **PFC** | -93.2% | -93.1% |
| **$SF_6$** | -78.6% | -79.0% |
| **$NF_3$** | 64.4% | -15.8% |
| **$CO_2$e hors** | -26.7% | -26.2% |
| **$CO_2$e net[a][b]** | -27.6% | -29.5% |

(*) Les émissions du trafic maritime international et du trafic aérien international sont exclues.

(a) comprend l'UTCATF (utilisation des terres, changements d'affectation des terres et forêt)

(b) AR5 : Emissions $CO_2$ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 5ème rapport du GIEC (GIEC 2014 - AR5).

PRG: $CO_2$ = 1 ; $CH_4$ = 28 ; $N_2O$ = 265 ; $SF_6$ = 23500 ; $NF_3$ = 16100 ;

HFC et PFC = valeurs variables dépendantes de la composition des gaz.

(c) utilisation des terres, changement d'affectation des terres et forêt (LULUCF en anglais)

(f) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

# 10.4 Améliorations transversales envisagées

Un inventaire d'émission est toujours perfectible. C'est dans ce sens que s'inscrit la démarche sous-jacente à l'élaboration de l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre.

En début d'année, dans le cadre du système de management de la qualité, un plan d'amélioration, élaboré sur la base des éléments précédents, est mis en place (cf. section 1.2.3 de ce rapport). Ce plan est présenté dans le tableau ci-dessous. Les éventuelles améliorations spécifiques prévues dans les différents secteurs sont décrites dans les chapitres 3 à 9.

**Tableau 354 : Suivi des améliorations méthodologiques envisagées sur les inventaires**

| Action | SECTEUR | Modifications / améliorations envisagées | GES | déc-24 | déc-25 | déc-26 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| G-2 | | Travail transversal sur les émissions de ML et de PM pour les plus gros émetteurs | - | X | X | X |
| G-14 | | Prise en compte du dernier guide EMEP / EEA | - | X | X | X |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| G-16 | | Tableau synthétique des principales enquêtes, précisant statut, fréquence & couverture annuelle, échéances, secteur, afin d'identifier les cas où les derniers chiffres d'inventaires ne sont pas des chiffres consolidés. | X | X | X | X |
| G-17 | | Investigations H2S (en principe dans Sox). Vérifier si H2S algues vertes considérées anthropogéniques; sources H2S dans guide EMEP/EEA ... | - | X | X | X |
| | **ENERGIE** | | | | | |
| 1-1 | Bilan de l'énergie | Consolidation des consommations d'énergie dans l'industrie en concertation avec le SDES, en particulier sur les produits pétroliers, les gaz industriels, biogaz des méthaniseurs... | X | X | X | X |
| 1-8 | Résidentiel / Tertiaire | Développement de facteurs d'émissions spécifiques pour les chaudières au fioul/GN selon étude ACIBIOQA. Possible relance du sujet dans le cadre d'un GT (NB : EF condition réelle à considérer). | - | X | X | X |
| 1-21 | Transport routier | Amélioration routier : suivi évolution guide EMEP/EEA et/ou COPERT, etc. | X | X | X | X |
| 1-28 | Combustion du bois / résidentiel | MAJ des méthodologies émissions de la combustion du bois dans le résidentiel, notamment les pellets, mise à jour du parc des équipements, question des condensables.... | - | X | X | X |
| 1-38 | Maritime | MAJ des répartitions des consommations domestiques/internationales | X | X | X | |
| 1-41 | Mines de charbon | Suite à la revue NECD 2017, ajout des émissions de PM liées à la manutention et au stockage du charbon | - | X (si info dispo) | X (si info dispo) | X |
| 1-60 | Aérien | Amélioration continue TARMAAC avec la DGAC | X | X | X | X |
| 1.69 | Fluvial | Améliorations du transport fluvial : prise en compte du parc réel... | X | X | X | X |
| 1.72 | Extraction de pétrole | Améliorer le niveau de la méthodologie avec des FE spécifique France | X | X | X | x |
| 1.76 | Combustion PIC-MIC | Prise en compte des arrêtés combustion des PIC et MIC, en particulier NOx, PM... | - | X | X | X |
| 1.79 | Transport maritime | - Prise en compte des émissions d'ammoniac liées à l'augmentation de l'usage de systèmes SCR (Réduction Catalytique Sélective).<br>- Prise en compte des consommations de GNL et de de lubrifiants. | X | X | X | X |
| 1.83 | RA2019 Fugitif | Passage aux raffinements des LD GIEC 2019 pour le secteur Fugitif | | | X | X |
| | **PROCEDES INDUSTRIELS** | | | | | |
| 2-35 | Sidérurgie | a) Emission de CO des fours sidérurgiques à oxygène : analyse de la question de l'évolution temporelle du FE CO et pertinence des FE disponibles. b) Emissions de CO dans les hauts-fourneaux | - | X (si info dispo) | X (si info dispo) | X (si info dispo) |
| 2-46 | PM BTP | Suite revue NECD 2019, besoin de révision des FE PM du BTP | - | X | X | X |
| 2-47 | Equipements électriques | Améliorations des estimation de SF6 de la fin de vie des équipements électriques. | X | X | X | X |
| 2-53 | Production de fonte | Production de fonte : revues des émissions de SO2, NOx , CO au regard des nouvelles informations du GB EMEP 2019. | - | X | X | X |
| 2-56 | Manutention & stockage combustible | Manutention et stockage des combustibles liquides autres que l'essence, hormis les terminaux pétroliers – Emissions de COVNM | - | X | x | x |
| 2-59 | GF Territoires Outre-mer | Travail spécifique sur les émissions des gaz fluorés sur les territoires d'outre-mer afin de prendre en compte les spécificités de ces territoires. | X | X | x | x |
| 2-63 | Consommations de bitume | Actualisation de la répartition des consommations de bitume (Asphalt roofing, Route et Enrobage) | - | X | x | x |
| 2-68 | Carrières | Mise à jour de paramètres pour le transport en interne dans les carrières et affinement des données météorologiques | - | X | X | X |
| 2-71 | N2O anesthésie | Investigation pour passer au GIEC avec quantités de N2O utilisées. | X | X | X | X |
| 2-73 | Autres procédés de la sidérurgie (CRF 2C1f) | Intégration des émissions historiques (depuis 1990) de PA rattachées à la SNAP 040210 "Autres procédés de la sidérurgie" qui ne sont actuellement pas inventoriées. | - | X | X | X |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **AGRICULTURE** | | | | | |
| 4-2 | Brûlages agricoles | Recherche de données d'activité afin de prendre en compte différentes formes de brûlage agricoles . | X | X | X | X |
| 4-5f | Elevage (3B) (Gestion des déjections) | Amélioration de la prise en compte de pratiques existantes pour la réduction des émissions d'ammoniac (couverture de fosses, stations de traitement, et laveur d'air) | - | X | X | X |
| 4-9 | Chantiers Bovins | Chantiers d'améliorations pour les bovins : populations, alimentation, excrétion azotée, fermentation entérique, FE fumier/litière accumulée, FE pâture, couvertures de fosses… | N2O, CH4 | X | X | X |
| 4-10 | Elevage (3B) | Veille sur les FE des porcins (en particulier travaux récent CORTEA et BDD ELFE) | N2O, CH4 | X (si info dispo) | X (si info dispo) | X (si info dispo) |
| 4-21 | Pesticides | Possibilité de réaliser un inventaire des émissions de pesticides dans l'air | - | DEV non budgété | DEV non budgété | DEV non budgété |
| 4-23 | Agriculture OM | Meilleures prise en compte des spécificités de l'agriculture en Outre-mer, suite revue CCNUCC | X | X (si info dispo) | X (si info dispo) | X (si info dispo) |
| 4-24 | Particules liées au travail du sol | L'estimation des émissions de particules liées au travail du sol pourrait être affinée en passant à un niveau de méthodologie Tier 2. | | X | X | X |
| 4-25 | Compostage des déjections animales | A l'heure actuelle, nous ne savons pas estimer la part des déjections animales produites en France qui sont compostées | X | X | X | X |
| 04-27 | Méthanisation | Intérêt d'intégrer la composition et devenir des digestats de méthanisationces des ACV, afin d'affiner l'hypothèse actuelle qui associe le FE des effluents liquides aux digestats de méthanisation. | X | X | X | X |
| 04-29 | Recensement général agricole 2020 | Intégration des données du RA 2020 selon disponibilité (gestion des déjections au bâtiment, modes de traitement, épandage, …) | X | X | X | X |
| 04-32 | Paramètres annuels en agriculture | Investigation pour intégrer des paramètres dans l'inventaire permettant de refléter au mieux les évolutions annuelles des pratiques agricoles | X | X (DEV) | X | X |
| 04-33 | Urée avec inhibiteurs d'uréase | Suivi des livraisons d'urée avec inhibiteurs d'uréase. | X | X | X | X |
| | **UTCATF** | | | | | |
| 5-1 | DOMCOM | Amélioration de la méthodologie pour le suivi UTCATF dans les DOM | x $CO_2$ | X | X | X |
| 5-3 | Suivi des terres | Mise à jour du suivi des terres : préparation de l'après TERUTI (pas d'enquête 2016…) | x CO2 | X | X | X |
| 5-10 | Bilan forêt - Prélèvements | Mise en cohérence du bilan forêts pour les années récentes : prélèvement versus croissance et mortalité. Attention particulière sur le bois énergie. | x CO2 | X | X | X |
| 5-11 | Bilan forêt – Cinétique racinaire | Suite au GT forêt du 20/06/2018, il a été proposé de tester l'application d'une cinétique d'ordre 1 pour la biomasse racinaire en forêt. | x CO2 | X | X | X |
| 5-15 | Cultures pérennes | Révision des émissions de GES des cultures pérennes, suite revue CCNUCC 2019 (Métropole fait en 2020, suite pour OM à faire). | X | X | X | X |
| 5-17 | Zones humides | Affinement des émissions des zones humides | X | X (DEV) | X | x |
| 5-19 | Suivi des terres en Outre-mer | Les dernières données de suivi des terres en Outre-mer, datent maintenant de 2012, un point pour l'année 2020 serait très bienvenu ou alternative. Fait pour Guyane. Voir pour les autres territoires. | X | X | X | X |
| 5-21 | Sols minéraux | Possibilités d'amélioration des estimations actuelles de carbone des sols minéraux | X | X | X | X |
| 05-24 | Produits bois | Affinement / améliorations des données sources utilisées pour le bilan des produits bois. | X | X | X | X |
| 05-25 | Arbres hors forêts | Adaptation du suivi des haies, arbres épars et agroforesterie dans l'inventaire UTCATF spatialement explicite. | X | X | X | X |
| 05-26 | Feux de forêt | Affinement des émissions des feux, spatialisation | X | X (DEV) | X | X |
| | **DECHETS** | | | | | |
| 6-12b | Feux accidentels /batiments | Suite à la revue NECD 2017, les émissoins liées aux feux d'immeubles et bâtiments ont été calculées en 2018. Reste le cas des PCDD-F (besoin FE national car FE EMEP trop fort). Reste l'OM. | X | X | X | X |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6-20 | Valorisation et torchage du biogaz issu des déchets | Les émissions de la combustion du biogaz lors de sa valorisation / torchage sont à prendre en compte. Déjà fait pour les ISDND, mais pas pour les méthaniseurs de déchets OM, de boues de STEP in situ, et boues des IAA. | X | X | X | X |
| 6-21 | Statistiques | Travail commun avec le SDES sur les statistiques du traitement des déchets par filière. | X | DEV non budgété | X | X |
| 6-22 | Traitement des eaux | Exploitation des données site à site des STEU (convention à créer pour accès BDD) | X | DEV non budgété | X | X |
| 6-36 | Brûlage de câbles | Les données d'activité liées au brûlage de cables doivent être actualisées (valeur constante très incertaine sur toute la série temporelle). | - | X | X | X |
| 6-40 | Incinération des boues d'épuration | Les FE utilisés sont très anciens et pourraient être remis en cause<br>Une révision de la série temporelle est nécessaire | - | X | X | X |
| 6-47 | Incinération des déchets hospitaliers | Conformité EMEP/EEA du FE HCB de l'incinération des déchets hospitaliers | - | X | X | X |
| 6-51 | Stockage déchets | Amélioration des données d'activités ISDND par confrontation base ITOM avec GEREP. | X | X | | |

De plus, les remarques formulées lors des revues internationales de la CCNUCC et de l'UE constituent également un axe d'amélioration privilégié. Le tableau en annexe 9 résume les différents points soulevés lors des dernières revues, et statue sur l'état de leur prise en compte. Les recommandations du texte en rouge sont celles pour lesquelles il n'y a pas eu d'action encore réalisé, celles en bleu représentent les recommandations qui ont été partiellement réalisées et/ou en cours. Enfin, les cellules avec du texte en vert sont les recommandations qui ont été corrigées et prises en compte par la France. Ainsi, la France trace les recommandations qui n'ont pas encore été soldées en totalité et pour lesquelles des actions devront être menées. Ces améliorations vont au-delà du plan d'action méthodologique et concerne tous les aspects de l'inventaire (QA/QC, analyse des catégories clés, incertitudes, transparence, etc.).

# *Acronymes et abréviations*

| | |
|---|---|
| ADEME | Agence de l'Environnement et de la Transition Ecologique |
| AEE | Agence Européenne pour l'Environnement |
| Aeq | Acide équivalent |
| AFD | Agence Française de Développement |
| AFNOR | Association Française de NORmalisation |
| AIE | Agence Internationale de l'Energie |
| AR4 | Fourth Assessment Report |
| BOD | Demande Biologique en Oxygène |
| BRGM | Bureau de Recherches Géologiques et Minières |
| BTP | Batiment et Travaux Publics |
| BTS | Basse Teneur en Soufre |
| CCFA | Comité des Constructeurs Français d'Automobiles |
| CCG | Cycle Combiné Gaz |
| CCNUCC | Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC en anglais) |
| CCTN | Commission des Comptes des Transports de la Nation |
| CDC | Caisse des Dépôts et Consignations |
| CdF | Charbonnage de France |
| CDM | Clean Development Mechanism |
| CEI | Communauté des États Indépendants |
| CEP | Centre Energétique et Procédés |
| CEPALC | Commission Economique Pour l'Amérique Latine et les Caraïbes |
| CEPII | Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales |
| CFC | Chlorofluorocarbures |
| CFL | Compact Fluorescent Lamp |
| CGDD | Commissariat Général au Développement Durable |
| $CH_4$ | Méthane |
| CHV | Combustible Haute Viscosité |
| Citepa | Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique |
| CMP | Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol |
| CMS | Combustibles Minéraux Solides |
| CO | Monoxyde de carbone |
| $CO_2$ | Dioxyde de carbone |
| COD | Carbone Organique Dégradable |
| COFACE | Compagnie Française d'Assurance pour le Commerce Extérieur |

| | |
|---|---|
| COM | Communauté d'Outre-mer |
| CONCAWE | CONservation of Clean Air and Water in Europe |
| COP | Conference Of the Parties |
| COPERT | COmputer Programme to calculate Emissions from Road Traffic |
| CORINAIR | CORe INventory of AIR emissions |
| COV | Composés Organiques Volatils |
| COVNM | Composés Organiques Volatils Non Méthaniques |
| CPA | Comité des Plastiques Agricoles |
| CPATLD | Convention sur la Pollution Atmosphérique Transfrontalière à Longue Distance / Long Range Transboundary Air Pollution (LRTAP) |
| CPDP | Comité Professionnel Du Pétrole |
| CPR | Commitment Period Reserve |
| CRT | Common Reporting Tables / Tables de Rapportage Communes |
| CSC | Captage et Stockage du Carbone / Carbon Capture and Storage (CCS) |
| CSEUR | Consolidated System of European Registries |
| CSNM | Chambre Syndicale Nationale du Motocycle |
| DGAC | Direction Générale de l'Aviation Civile |
| DGALN | Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature |
| DGEC | Direction Générale de l'Energie et du Climat |
| DGITM | Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer |
| DGPAAT | Direction Générale des Politiques Agricoles, Agroalimentaires, et des Territoires |
| DGPR | Direction Générale de la Prévention des Risques |
| DIB | Déchet Industriel Banal |
| DMA | Déchet Ménager et Assimilés |
| DOM | Département d'Outre-mer |
| DREAL | Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement |
| DRIRE | Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement |
| EACEI | Enquête Annuelle des Consommations d'Energie dans l'Industrie |
| EdF | Electricité de France |
| EIONET | European Environment Information and Observation Network (Réseau européen d'observation et d'information sur l'environnement) |
| EMEP | European Monitoring and Evaluation Programme |
| EMP | Ecole des Mines de Paris |
| ErDF | Electricité réseau Distribution France |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| FFA | Fédération Française de l'Acier |
| FNADE | Fédération Nationale des Activités de la Dépollution et de l'Environnement |
| FOD | Fuel-Oil Domestique |

| | |
|---|---|
| FOL | Fuel-Oil Lourd |
| GCIIE | Groupe de Concertation et d'Information sur les Inventaires d'Emissions |
| GDF | Gaz de France |
| GEREP | Gestion Electronique du Registre des Emissions Polluantes |
| GES | Gaz à Effet de Serre |
| Gg | 1 Gg (Gigagramme) = 1 000 Mg = 1 000 t = 1 kt |
| GIC | Grandes Installations de Combustion |
| GIEC | Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat / IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change |
| GNL | Gaz Naturel Liquéfié |
| GPLc | Gaz de Pétrole Liquéfié carburant |
| GrDF | Gaz réseau Distribution France |
| GSP | Grande source ponctuelle |
| HCFC | Hydrochlorofluorocarbures |
| HFC | Hydrofluorocarbures |
| IFN | Inventaire Forestier National |
| IFSTTAR | Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux |
| INRA | Institut National de la Recherche Agronomique |
| INSEE | Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques |
| ITOM | Enquête sur les Installations de Traitement des Ordures Ménagères |
| LTO | Landing and Take-Off |
| MAA | Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation |
| MTE | Ministère de la Transition Écologique |
| MEET | Methodologies for Estimating air Emissions from Transports |
| Mg | 1 Mg (Megagramme) = 1 t (tonne) |
| $N_2O$ | Protoxyde d'azote |
| NAPFUE | Nomenclature for Air Pollution of FUElS |
| NFR | Nomenclature For Reporting |
| NOx | Oxydes d'azotes : monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote ($NO_2$) |
| OACI | Organisation de l'Aviation Civile Internationale |
| OCF | One Component Foam (mousse à composant unique) |
| OM | Outre Mer |
| OMINEA | Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques |
| OPALE | Ordonnancement du PArc en Liaison avec les Emissions |
| PFC | Perfluorocarbures |
| PIB | Produit Intérieur Brut |
| PL | Poids lourds |
| PRG | Potentiel de Réchauffement Global (GWP en anglais) |

| | |
|---|---|
| PTOM | Pays et Territoires d'Outre-mer |
| QA | Quality assurance |
| QC | Quality control |
| RTE | Réseau de Transport d'Electricité |
| SEQE | Système d'Echange des Quotas d'Emission |
| SECTEN | SECTeurs économiques et ENergie |
| $SF_6$ | Hexafluorure de soufre |
| SNAP | Selected Nomenclature for Air Pollution / Nomenclature Spécifique pour la Pollution de l'Air |
| SNCU | Syndicat National du Chauffage Urbain |
| $SO_2$ | Dioxyde de soufre |
| $SO_3$ | Trioxyde de soufre |
| SDES | Service de la Donnée et des Etudes Statistiques |
| SSP | Service de la Statistique et de la Prospective |
| Tg | 1 Tg (Teragramme) = 1 000 Gg = 1 000 000 Mg = 1 000 000 t |
| UE | Union Européenne |
| UIDND | Usine d'incinération de déchets non dangereux |
| UNIFA | UNion des Industries de la FertilisAtion |
| UTCATF | Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie (LULUCF en anglais) |
| VP | Véhicule particulier |
| VU | Véhicule utilitaire |
| VUL | Véhicules Utilitaires Légers |

# Annexe 1

## Catégories clés

# TIER 1 – Analyse hors UTCATF

**Tableau 355 : Evaluation des catégories clés en 2023 – analyse des niveaux d'émissions hors UTCATF – Tier 1**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — s_cle_hors_UTCATF.xlsx/s_cle_niv

**EVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES NIVEAUX D'EMISSIONS HORS UTCATF (*) - Périmètre France UE**

| rang | Classement Source / Combustible | | Gaz à effet de serre direct | $CO_2$ équivalent (kt) | $CO_2$ équivalent (kt) | Contribution (%) | Cumul (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CRT | Libellé | | 1990 | 2023 | 2023 | 2023 |
| 1 | 1A3b | Road Transportation | CO2 | 114 051 | 115 656 | 31% | 31% |
| 2 | 3A | Enteric Fermentation | CH4 | 46 750 | 36 841 | 9.8% | 41% |
| 3 | 1A4b | Residential / gas | CO2 | 21 064 | 19 890 | 5.3% | 46% |
| 4 | 3D1 | Direct N2O emissions from managed soils | N2O | 17 711 | 13 879 | 3.7% | 49% |
| 5 | 5A | Solid Waste Disposal | CH4 | 12 457 | 11 667 | 3.1% | 53% |
| 6 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / gas | CO2 | 970 | 11 283 | 3.0% | 56% |
| 7 | 1A4a | Commercial/Institutional / gas | CO2 | 8 096 | 11 052 | 2.9% | 59% |
| 8 | 1A4c | Agriculture/Forestry/Fishing / oil | CO2 | 10 905 | 9 648 | 2.6% | 61% |
| 9 | 1A4b | Residential / oil | CO2 | 30 915 | 9 596 | 2.5% | 64% |
| 10 | 2C1 | Iron and Steel Production | CO2 | 15 789 | 8 115 | 2.2% | 66% |
| 11 | 2F1 | Refrigeration and Air Conditioning | HFC | 0 | 7 609 | 2.0% | 68% |
| 12 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels | CO2 | 2 557 | 7 068 | 1.9% | 70% |
| 13 | 1A2g | Manufacturing Industries / Other | CO2 | 11 541 | 6 956 | 1.8% | 72% |
| 14 | 3B | Manure Management | CH4 | 6 791 | 6 428 | 1.7% | 73% |
| 15 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / gas | CO2 | 3 446 | 6 030 | 1.6% | 75% |
| 16 | 2A1 | Cement Production | CO2 | 10 937 | 5 675 | 1.5% | 76% |
| 17 | 1A4a | Commercial/Institutional / oil | CO2 | 16 555 | 5 050 | 1.3% | 78% |
| 18 | 1A3a | Domestic Aviation | CO2 | 3 631 | 4 375 | 1.2% | 79% |
| 19 | 3D2 | Indirect N2O Emissions from managed soils | N2O | 5 309 | 4 288 | 1.1% | 80% |
| 20 | 1A1b | Petroleum Refining / oil | CO2 | 11 413 | 4 230 | 1.1% | 81% |
| 21 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / coal | CO2 | 37 412 | 4 171 | 1.1% | 82% |
| 22 | 1A2f | Non-metallic minerals / gas | CO2 | 3 433 | 3 771 | 1.0% | 83% |
| 23 | 1A2c | Chemicals / gas | CO2 | 5 611 | 3 723 | 1.0% | 84% |
| 24 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / oil | CO2 | 8 209 | 3 601 | 1.0% | 85% |
| 25 | 2B8 | Petrochemical and carbon black production | CO2 | 3 950 | 2 863 | 0.8% | 86% |
| 26 | 3B | Manure Management | N2O | 3 854 | 2 770 | 0.7% | 87% |
| 27 | 1A2f | Non-metallic minerals / oil | CO2 | 6 508 | 2 526 | 0.7% | 87% |
| 28 | 5D | Wastewater treatment and discharge | N2O | 2 299 | 2 355 | 0.6% | 88% |
| 29 | 1A2c | Chemicals / oil | CO2 | 4 871 | 2 151 | 0.6% | 89% |
| 30 | 1A5a | Other stationary | CO2 | 4 464 | 2 103 | 0.6% | 89% |
| 31 | 1A1c | Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal | CO2 | 4 054 | 2 035 | 0.5% | 90% |
| 32 | 2A2 | Lime Production | CO2 | 2 712 | 1 927 | 0.5% | 90% |
| 33 | 5D | Wastewater treatment and discharge | CH4 | 1 313 | 1 874 | 0.5% | 91% |
| 34 | 1A2d | Pulp, Paper and Print / gas | CO2 | 2 063 | 1 817 | 0.5% | 91% |
| 35 | 1A4b | Residential / biomass | CH4 | 4 764 | 1 782 | 0.5% | 92% |
| 36 | 2B10 | Chemical Industry / Other | CO2 | 1 272 | 1 682 | 0.4% | 92% |
| 37 | 1A2a | Iron and Steel / gas | CO2 | 2 777 | 1 608 | 0.4% | 92% |
| 38 | 1A2a | Iron and Steel / coal | CO2 | 4 253 | 1 559 | 0.4% | 93% |
| 39 | 1A3d | Domestic navigation | CO2 | 2 276 | 1 467 | 0.4% | 93% |
| 40 | 5C | Incineration and open burning of waste | CO2 | 2 110 | 1 341 | 0.4% | 94% |
| 41 | 1B2a | Fugitive Emissions from Fuels / Oil | CO2 | 2 983 | 1 279 | 0.3% | 94% |
| 42 | 1A1b | Petroleum Refining / gas | CO2 | 36 | 1 176 | 0.3% | 94% |
| 43 | 3H | Urea application | CO2 | 865 | 1 092 | 0.3% | 95% |
| 44 | 1A2f | Non-metallic minerals / other fossil fuels | CO2 | 340 | 1 091 | 0.3% | 95% |
| 45 | 1A3b | Road Transportation | N2O | 785 | 1 062 | 0.3% | 95% |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | **Total (*)** | | | **546 574** | **376 397** | | |

(*) Analyse hors UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)

### Tableau 356 : Evaluation des catégories clés en 1990 – analyse des niveaux d'émissions hors UTCATF – Tier 1

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 s_cle_hors_UTCATF_1990.xlsx/s_cle_niv

**EVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES NIVEAUX D'EMISSIONS HORS UTCATF (*) - Périmètre France UE**

| rang | Classement Source / Combustible | | Gaz à effet de serre direct | $CO_2$ équivalent (kt) | Contribution (%) | Cumul (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1990 | 1990 | 1990 |
| 1 | 1A3b | Road Transportation | CO2 | 114 051 | 20.9% | 21% |
| 2 | 3A | Enteric Fermentation | CH4 | 46 750 | 8.6% | 29% |
| 3 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / coal | CO2 | 37 412 | 6.8% | 36% |
| 4 | 1A4b | Residential / oil | CO2 | 30 915 | 5.7% | 42% |
| 5 | 1A4b | Residential / gas | CO2 | 21 064 | 3.9% | 46% |
| 6 | 3D1 | Direct N2O emissions from managed soils | N2O | 17 711 | 3.2% | 49% |
| 7 | 1A4a | Commercial/Institutional / oil | CO2 | 16 555 | 3.0% | 52% |
| 8 | 2C1 | Iron and Steel Production | CO2 | 15 789 | 2.9% | 55% |
| 9 | 2B3 | Adipic Acid Production | N2O | 12 656 | 2.3% | 57% |
| 10 | 5A | Solid Waste Disposal | CH4 | 12 457 | 2.3% | 60% |
| 11 | 1A2g | Manufacturing Industries / Other | CO2 | 11 541 | 2.1% | 62% |
| 12 | 1A1b | Petroleum Refining / oil | CO2 | 11 413 | 2.1% | 64% |
| 13 | 2A1 | Cement Production | CO2 | 10 937 | 2.0% | 66% |
| 14 | 1A4c | Agriculture/Forestry/Fishing / oil | CO2 | 10 905 | 2.0% | 68% |
| 15 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / oil | CO2 | 8 209 | 1.5% | 69% |
| 16 | 1A4a | Commercial/Institutional / gas | CO2 | 8 096 | 1.5% | 71% |
| 17 | 3B | Manure Management | CH4 | 6 791 | 1.2% | 72% |
| 18 | 1A2f | Non-metallic minerals / oil | CO2 | 6 508 | 1.2% | 73% |
| 19 | 2B2 | Nitric Acid Production | N2O | 5 663 | 1.0% | 74% |
| 20 | 1A2c | Chemicals / gas | CO2 | 5 611 | 1.0% | 75% |
| 21 | 1B1a | Coal Mining and handling | CH4 | 5 354 | 1.0% | 76% |
| 22 | 3D2 | Indirect N2O Emissions from managed soils | N2O | 5 309 | 1.0% | 77% |
| 23 | 1A2c | Chemicals / oil | CO2 | 4 871 | 0.9% | 78% |
| 24 | 1A2f | Non-metallic minerals / coal | CO2 | 4 769 | 0.9% | 79% |
| 25 | 1A4b | Residential / biomass | CH4 | 4 764 | 0.9% | 80% |
| 26 | 1A5a | Other stationary | CO2 | 4 464 | 0.8% | 81% |
| 27 | 1A2a | Iron and Steel / coal | CO2 | 4 253 | 0.8% | 81% |
| 28 | 2B9 | Fluorochemical production | HFC | 4 202 | 0.8% | 82% |
| 29 | 1A1c | Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal | CO2 | 4 054 | 0.7% | 83% |
| 30 | 2B8 | Petrochemical and carbon black production | CO2 | 3 950 | 0.7% | 84% |
| 31 | 3B | Manure Management | N2O | 3 854 | 0.7% | 84% |
| 32 | 1A3a | Domestic Aviation | CO2 | 3 631 | 0.7% | 85% |
| 33 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / gas | CO2 | 3 446 | 0.6% | 86% |
| 34 | 1A2f | Non-metallic minerals / gas | CO2 | 3 433 | 0.6% | 86% |
| 35 | 2C3 | Aluminium Production | PFC | 3 211 | 0.6% | 87% |
| 36 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / oil | CO2 | 3 156 | 0.6% | 87% |
| 37 | 2B1 | Ammonia Production | CO2 | 3 056 | 0.6% | 88% |
| 38 | 1B2a | Fugitive Emissions from Fuels / Oil | CO2 | 2 983 | 0.5% | 89% |
| 39 | 1A2a | Iron and Steel / gas | CO2 | 2 777 | 0.5% | 89% |
| 40 | 2A2 | Lime Production | CO2 | 2 712 | 0.5% | 90% |
| 41 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels | CO2 | 2 557 | 0.5% | 90% |
| 42 | 2B4 | Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production | N2O | 2 384 | 0.4% | 90% |
| 43 | 5D | Wastewater treatment and discharge | N2O | 2 299 | 0.4% | 91% |
| 44 | 1A3d | Domestic navigation | CO2 | 2 276 | 0.4% | 91% |
| 45 | 1A2c | Chemicals / coal | CO2 | 2 123 | 0.4% | 92% |
| 46 | 5C | Incineration and open burning of waste | CO2 | 2 110 | 0.4% | 92% |
| 47 | 1A4a | Commercial/Institutional / coal | CO2 | 2 078 | 0.4% | 92% |
| 48 | 1A2d | Pulp, Paper and Print / gas | CO2 | 2 063 | 0.4% | 93% |
| 49 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / coal | CO2 | 2 053 | 0.4% | 93% |
| 50 | 1A4b | Residential / coal | CO2 | 1 957 | 0.4% | 94% |
| 51 | 1A2a | Iron and Steel / oil | CO2 | 1 725 | 0.3% | 94% |
| 52 | 1B2b | Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas | CH4 | 1 703 | 0.3% | 94% |
| 53 | 0.00 | Indirect CO2 | CO2 | 1 659 | 0.3% | 94% |
| 54 | 1A2d | Pulp, Paper and Print / oil | CO2 | 1 386 | 0.3% | 95% |
| 55 | 5D | Wastewater treatment and discharge | CH4 | 1 313 | 0.2% | 95% |
| 56 | 2B10 | Chemical Industry / Other | CO2 | 1 272 | 0.2% | 95% |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | **Total (*)** | | | **546 574** | | |

(*) Analyse hors UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)

## Tableau 357 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2023 – analyse des évolutions des émissions hors UTCATF – Tier 1

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — s_cle_hors_UTCATF.xlsx/s_cle_evol

**EVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES EVOLUTIONS D'EMISSIONS HORS UTCATF (*) - Périmètre France UE**

| rang | Classement Source / Combustible | | Gaz à effet de serre direct | $CO_2$ équivalent (kt) | $CO_2$ équivalent (kt) | Evaluation de l'évolution (**) | Contribution à l'évolution (%) | Cumul (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CRT | Libellé | | 1990 | 2023 | | | 2023 |
| 1 | 1A3b | Road Transportation | CO2 | 114 051 | 115 656 | 0.068 | 18.0% | 18% |
| 2 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / coal | CO2 | 37 412 | 4 171 | 0.040 | 10.5% | 28% |
| 3 | 1A4b | Residential / oil | CO2 | 30 915 | 9 596 | 0.021 | 5.7% | 34% |
| 4 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / gas | CO2 | 970 | 11 283 | 0.019 | 5.1% | 39% |
| 5 | 2B3 | Adipic Acid Production | N2O | 12 656 | 10 | 0.016 | 4.2% | 43% |
| 6 | 2F1 | Refrigeration and Air Conditioning | HFC | 0 | 7 609 | 0.014 | 3.7% | 47% |
| 7 | 1A4a | Commercial/Institutional / oil | CO2 | 16 555 | 5 050 | 0.012 | 3.1% | 50% |
| 8 | 1A4a | Commercial/Institutional / gas | CO2 | 8 096 | 11 052 | 0.010 | 2.7% | 53% |
| 9 | 1A4b | Residential / gas | CO2 | 21 064 | 19 890 | 0.010 | 2.6% | 55% |
| 10 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels | CO2 | 2 557 | 7 068 | 0.010 | 2.6% | 58% |
| 11 | 3A | Enteric Fermentation | CH4 | 46 750 | 36 841 | 0.009 | 2.3% | 60% |
| 12 | 2B2 | Nitric Acid Production | N2O | 5 663 | 196 | 0.007 | 1.8% | 62% |
| 13 | 1B1a | Coal Mining and handling | CH4 | 5 354 | 1.3 | 0.007 | 1.8% | 64% |
| 14 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / gas | CO2 | 3 446 | 6 030 | 0.007 | 1.8% | 66% |
| 15 | 1A1b | Petroleum Refining / oil | CO2 | 11 413 | 4 230 | 0.007 | 1.8% | 67% |
| 16 | 5A | Solid Waste Disposal | CH4 | 12 457 | 11 667 | 0.006 | 1.5% | 69% |
| 17 | 2B9 | Fluorochemical production | HFC | 4 202 | 19 | 0.005 | 1.4% | 70% |
| 18 | 2C1 | Iron and Steel Production | CO2 | 15 789 | 8 115 | 0.005 | 1.3% | 72% |
| 19 | 1A2f | Non-metallic minerals / coal | CO2 | 4 769 | 781 | 0.005 | 1.2% | 73% |
| 20 | 2C3 | Aluminium Production | PFC | 3 211 | 20 | 0.004 | 1.1% | 74% |
| 21 | 1A4c | Agriculture/Forestry/Fishing / oil | CO2 | 10 905 | 9 648 | 0.004 | 1.0% | 75% |
| 22 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / oil | CO2 | 8 209 | 3 601 | 0.004 | 1.0% | 76% |
| 23 | 1A2f | Non-metallic minerals / oil | CO2 | 6 508 | 2 526 | 0.004 | 0.9% | 77% |
| 24 | 1A3a | Domestic Aviation | CO2 | 3 631 | 4 375 | 0.003 | 0.9% | 78% |
| 25 | 2A1 | Cement Production | CO2 | 10 937 | 5 675 | 0.003 | 0.9% | 79% |
| 26 | 3B | Manure Management | CH4 | 6 791 | 6 428 | 0.003 | 0.8% | 80% |
| 27 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / oil | CO2 | 3 156 | 482 | 0.003 | 0.8% | 80% |
| 28 | 3D1 | Direct N2O emissions from managed soils | N2O | 17 711 | 13 879 | 0.003 | 0.8% | 81% |
| 29 | 2B4 | Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production | N2O | 2 384 | 35 | 0.003 | 0.8% | 82% |
| 30 | 1A4b | Residential / biomass | CH4 | 4 764 | 1 782 | 0.003 | 0.7% | 83% |
| 31 | 1A2f | Non-metallic minerals / gas | CO2 | 3 433 | 3 771 | 0.003 | 0.7% | 83% |
| 32 | 1A2a | Iron and Steel / coal | CO2 | 4 253 | 1 559 | 0.003 | 0.7% | 84% |
| 33 | 1A4a | Commercial/Institutional / coal | CO2 | 2 078 | 119 | 0.002 | 0.6% | 85% |
| 34 | 1A4b | Residential / coal | CO2 | 1 957 | 77 | 0.002 | 0.6% | 85% |
| 35 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / coal | CO2 | 2 053 | 166 | 0.002 | 0.6% | 86% |
| 36 | 1A2c | Chemicals / oil | CO2 | 4 871 | 2 151 | 0.002 | 0.6% | 86% |
| 37 | 1A1b | Petroleum Refining / gas | CO2 | 36 | 1 176 | 0.002 | 0.6% | 87% |
| 38 | 2B1 | Ammonia Production | CO2 | 3 056 | 1 053 | 0.002 | 0.5% | 88% |
| 39 | 1A2a | Iron and Steel / oil | CO2 | 1 725 | 137 | 0.002 | 0.5% | 88% |
| 40 | 1A2g | Manufacturing Industries / Other | CO2 | 11 541 | 6 956 | 0.002 | 0.5% | 88% |
| 41 | 1A5a | Other stationary | CO2 | 4 464 | 2 103 | 0.002 | 0.5% | 89% |
| 42 | 5D | Wastewater treatment and discharge | CH4 | 1 313 | 1 874 | 0.002 | 0.5% | 89% |
| 43 | 1A2f | Non-metallic minerals / other fossil fuels | CO2 | 340 | 1 091 | 0.002 | 0.4% | 90% |
| 44 | 1A2d | Pulp, Paper and Print / oil | CO2 | 1 386 | 139 | 0.001 | 0.4% | 90% |
| 45 | 2B10 | Chemical Industry / Other | CO2 | 1 272 | 1 682 | 0.001 | 0.4% | 91% |
| 46 | 1B2a | Fugitive Emissions from Fuels / Oil | CO2 | 2 983 | 1 279 | 0.001 | 0.4% | 91% |
| 47 | 5D | Wastewater treatment and discharge | N2O | 2 299 | 2 355 | 0.001 | 0.4% | 91% |
| 48 | 1A1c | Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / | CO2 | 4 054 | 2 035 | 0.001 | 0.4% | 92% |
| 49 | 2B9 | Fluorochemical production | PFC | 1 084 | 0 | 0.001 | 0.4% | 92% |
| 50 | 1A2d | Pulp, Paper and Print / coal | CO2 | 1 021 | 0.0 | 0.001 | 0.3% | 92% |
| 51 | 1A2c | Chemicals / coal | CO2 | 2 123 | 787 | 0.001 | 0.3% | 93% |
| 52 | 1A2b | Non-Ferrous Metals / coal | CO2 | 942 | 6 | 0.001 | 0.3% | 93% |
| 53 | 3D2 | Indirect N2O Emissions from managed soils | N2O | 5 309 | 4 288 | 0.001 | 0.3% | 93% |
| 54 | 1A3b | Road Transportation | CH4 | 1 112 | 137 | 0.001 | 0.3% | 94% |
| 55 | 5B | Biological treatment of solid waste | CH4 | 112 | 654 | 0.001 | 0.3% | 94% |
| 56 | 1A2c | Chemicals / other fossil fuels | CO2 | 470 | 884 | 0.001 | 0.3% | 94% |
| 57 | 2F4 | Aerosols | HFC | 0 | 550 | 0.001 | 0.3% | 95% |
| 58 | 1B2b | Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas | CO2 | 818 | 28.5 | 0.001 | 0.3% | 94.78% |
| 59 | 1A3b | Road Transportation | N2O | 785 | 1 062 | 0.001 | 0.3% | 95.03% |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | **Total (*)** | | | **546 574** | **376 397** | | | |

(*) Analyse hors UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)

(**) Analyse de l'évolution selon les bonnes pratiques du GIEC (cf. "IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National

# TIER 1 – Analyse avec UTCATF

**Tableau 358 : Évaluation des catégories clés 2023 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 1**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — s_cle_avec_UTCATF.xlsx/s_cle_niv

**EVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES NIVEAUX D'EMISSIONS AVEC UTCATF (*) - Périmètre France UE**

| rang | Classement Source / Combustible | | Gaz à effet de serre direct | $CO_2$ équivalent (kt) | $CO_2$ équivalent (kt) | Contribution (%) | Cumul (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CRT | Libellé | | 1990 | 2023 | 2023 | 2023 |
| 1 | 1A3b | Road Transportation | CO2 | 114 051 | 115 656 | 25.6% | 26% |
| 2 | 3A | Enteric Fermentation | CH4 | 46 750 | 36 841 | 8.2% | 34% |
| 3 | 4A1 | Forest Land remaining Forest Land | CO2 | 24 718 | 36 165 | 8.0% | 42% |
| 4 | 1A4b | Residential / gas | CO2 | 21 064 | 19 890 | 4.4% | 46% |
| 5 | 4A2 | Land converted to Forest Land | CO2 | 20 815 | 14 971 | 3.3% | 50% |
| 6 | 3D1 | Direct N2O emissions from managed soils | N2O | 17 711 | 13 879 | 3.1% | 53% |
| 7 | 5A | Solid Waste Disposal | CH4 | 12 457 | 11 667 | 2.6% | 55% |
| 8 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / gas | CO2 | 970 | 11 283 | 2.5% | 58% |
| 9 | 4B2 | Land converted to Cropland | CO2 | 25 858 | 11 169 | 2.5% | 60% |
| 10 | 1A4a | Commercial/Institutional / gas | CO2 | 8 096 | 11 052 | 2.4% | 63% |
| 11 | 1A4c | Agriculture/Forestry/Fishing / oil | CO2 | 10 905 | 9 648 | 2.1% | 65% |
| 12 | 1A4b | Residential / oil | CO2 | 30 915 | 9 596 | 2.1% | 67% |
| 13 | 2C1 | Iron and Steel Production | CO2 | 15 789 | 8 115 | 1.8% | 69% |
| 14 | 2F1 | Refrigeration and Air Conditioning | HFC | 0 | 7 609 | 1.7% | 70% |
| 15 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels | CO2 | 2 557 | 7 068 | 1.6% | 72% |
| 16 | 1A2g | Manufacturing Industries / Other | CO2 | 11 541 | 6 956 | 1.5% | 73% |
| 17 | 3B | Manure Management | CH4 | 6 791 | 6 428 | 1.4% | 75% |
| 18 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / gas | CO2 | 3 446 | 6 030 | 1.3% | 76% |
| 19 | 2A1 | Cement Production | CO2 | 10 937 | 5 675 | 1.3% | 78% |
| 20 | 1A4a | Commercial/Institutional / oil | CO2 | 16 555 | 5 050 | 1.1% | 79% |
| 21 | 4E | Settlements | CO2 | 3 916 | 4 765 | 1.1% | 80% |
| 22 | 1A3a | Domestic Aviation | CO2 | 3 631 | 4 375 | 1.0% | 81% |
| 23 | 3D2 | Indirect N2O Emissions from managed soils | N2O | 5 309 | 4 288 | 1.0% | 82% |
| 24 | 1A1b | Petroleum Refining / oil | CO2 | 11 413 | 4 230 | 0.9% | 83% |
| 25 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / coal | CO2 | 37 412 | 4 171 | 0.9% | 83% |
| 26 | 4C2 | Land converted to Grassland | CO2 | 4 905 | 3 779 | 0.8% | 84% |
| 27 | 1A2f | Non-metallic minerals / gas | CO2 | 3 433 | 3 771 | 0.8% | 85% |
| 28 | 1A2c | Chemicals / gas | CO2 | 5 611 | 3 723 | 0.8% | 86% |
| 29 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / oil | CO2 | 8 209 | 3 601 | 0.8% | 87% |
| 30 | 2B8 | Petrochemical and carbon black production | CO2 | 3 950 | 2 863 | 0.6% | 87% |
| 31 | 3B | Manure Management | N2O | 3 854 | 2 770 | 0.6% | 88% |
| 32 | 1A2f | Non-metallic minerals / oil | CO2 | 6 508 | 2 526 | 0.6% | 89% |
| 33 | 5D | Wastewater treatment and discharge | N2O | 2 299 | 2 355 | 0.5% | 89% |
| 34 | 1A2c | Chemicals / oil | CO2 | 4 871 | 2 151 | 0.5% | 90% |
| 35 | 1A5a | Other stationary | CO2 | 4 464 | 2 103 | 0.5% | 90% |
| 36 | 1A1c | Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal | CO2 | 4 054 | 2 035 | 0.5% | 90% |
| 37 | 2A2 | Lime Production | CO2 | 2 712 | 1 927 | 0.4% | 91% |
| 38 | 5D | Wastewater treatment and discharge | CH4 | 1 313 | 1 874 | 0.4% | 91% |
| 39 | 1A2d | Pulp, Paper and Print / gas | CO2 | 2 063 | 1 817 | 0.4% | 92% |
| 40 | 1A4b | Residential / biomass | CH4 | 4 764 | 1 782 | 0.4% | 92% |
| 41 | 2B10 | Chemical Industry / Other | CO2 | 1 272 | 1 682 | 0.4% | 93% |
| 42 | 1A2a | Iron and Steel / gas | CO2 | 2 777 | 1 608 | 0.4% | 93% |
| 43 | 1A2a | Iron and Steel / coal | CO2 | 4 253 | 1 559 | 0.3% | 93% |
| 44 | 1A3d | Domestic navigation | CO2 | 2 276 | 1 467 | 0.3% | 94% |
| 45 | 5C | Incineration and open burning of waste | CO2 | 2 110 | 1 341 | 0.3% | 94% |
| 46 | 1B2a | Fugitive Emissions from Fuels / Oil | CO2 | 2 983 | 1 279 | 0.3% | 94% |
| 47 | 1A1b | Petroleum Refining / gas | CO2 | 36 | 1 176 | 0.3% | 94% |
| 48 | 3H | Urea application | CO2 | 865 | 1 092 | 0.2% | 95% |
| 49 | 1A2f | Non-metallic minerals / other fossil fuels | CO2 | 340 | 1 091 | 0.2% | 95% |
| 50 | 1A3b | Road Transportation | N2O | 785 | 1 062 | 0.2% | 95% |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

(*) Analyse avec UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)

## Tableau 359 : Évaluation des catégories clés 1990 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 1

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 s_cle_avec_UTCATF_1990.xlsx/s_cle_niv

**EVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES NIVEAUX D'EMISSIONS AVEC UTCATF (*) - Périmètre France UE**

| rang | Classement Source / Combustible | | Gaz à effet de serre direct | $CO_2$ équivalent (kt) | Contribution (%) | Cumul (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1990 | 1990 | 1990 |
| 1 | 1A3b | Road Transportation | CO2 | 114 051 | 17.9% | 18% |
| 2 | 3A | Enteric Fermentation | CH4 | 46 750 | 7.3% | 25% |
| 3 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / coal | CO2 | 37 412 | 5.9% | 31% |
| 4 | 1A4b | Residential / oil | CO2 | 30 915 | 4.8% | 36% |
| 5 | 4B2 | Land converted to Cropland | CO2 | 25 858 | 4.1% | 40% |
| 6 | 4A1 | Forest Land remaining Forest Land | CO2 | 24 718 | 3.9% | 44% |
| 7 | 1A4b | Residential / gas | CO2 | 21 064 | 3.3% | 47% |
| 8 | 4A2 | Land converted to Forest Land | CO2 | 20 815 | 3.3% | 50% |
| 9 | 3D1 | Direct N2O emissions from managed soils | N2O | 17 711 | 2.8% | 53% |
| 10 | 1A4a | Commercial/Institutional / oil | CO2 | 16 555 | 2.6% | 56% |
| 11 | 2C1 | Iron and Steel Production | CO2 | 15 789 | 2.5% | 58% |
| 12 | 2B3 | Adipic Acid Production | N2O | 12 656 | 2.0% | 60% |
| 13 | 5A | Solid Waste Disposal | CH4 | 12 457 | 2.0% | 62% |
| 14 | 1A2g | Manufacturing Industries / Other | CO2 | 11 541 | 1.8% | 64% |
| 15 | 1A1b | Petroleum Refining / oil | CO2 | 11 413 | 1.8% | 66% |
| 16 | 2A1 | Cement Production | CO2 | 10 937 | 1.7% | 68% |
| 17 | 1A4c | Agriculture/Forestry/Fishing / oil | CO2 | 10 905 | 1.7% | 69% |
| 18 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / oil | CO2 | 8 209 | 1.3% | 70% |
| 19 | 1A4a | Commercial/Institutional / gas | CO2 | 8 096 | 1.3% | 72% |
| 20 | 3B | Manure Management | CH4 | 6 791 | 1.1% | 73% |
| 21 | 1A2f | Non-metallic minerals / oil | CO2 | 6 508 | 1.0% | 74% |
| 22 | 2B2 | Nitric Acid Production | N2O | 5 663 | 0.9% | 75% |
| 23 | 1A2c | Chemicals / gas | CO2 | 5 611 | 0.9% | 76% |
| 24 | 4G | Harvested wood products | CO2 | 5 368 | 0.8% | 76% |
| 25 | 1B1a | Coal Mining and handling | CH4 | 5 354 | 0.8% | 77% |
| 26 | 3D2 | Indirect N2O Emissions from managed soils | N2O | 5 309 | 0.8% | 78% |
| 27 | 4C2 | Land converted to Grassland | CO2 | 4 905 | 0.8% | 79% |
| 28 | 1A2c | Chemicals / oil | CO2 | 4 871 | 0.8% | 80% |
| 29 | 1A2f | Non-metallic minerals / coal | CO2 | 4 769 | 0.7% | 80% |
| 30 | 1A4b | Residential / biomass | CH4 | 4 764 | 0.7% | 81% |
| 31 | 1A5a | Other stationary | CO2 | 4 464 | 0.7% | 82% |
| 32 | 1A2a | Iron and Steel / coal | CO2 | 4 253 | 0.7% | 83% |
| 33 | 2B9 | Fluorochemical production | HFC | 4 202 | 0.7% | 83% |
| 34 | 1A1c | Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal | CO2 | 4 054 | 0.6% | 84% |
| 35 | 2B8 | Petrochemical and carbon black production | CO2 | 3 950 | 0.6% | 84% |
| 36 | 4E | Settlements | CO2 | 3 916 | 0.6% | 85% |
| 37 | 3B | Manure Management | N2O | 3 854 | 0.6% | 86% |
| 38 | 1A3a | Domestic Aviation | CO2 | 3 631 | 0.6% | 86% |
| 39 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / gas | CO2 | 3 446 | 0.5% | 87% |
| 40 | 1A2f | Non-metallic minerals / gas | CO2 | 3 433 | 0.5% | 87% |
| 41 | 2C3 | Aluminium Production | PFC | 3 211 | 0.5% | 88% |
| 42 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / oil | CO2 | 3 156 | 0.5% | 88% |
| 43 | 2B1 | Ammonia Production | CO2 | 3 056 | 0.5% | 89% |
| 44 | 1B2a | Fugitive Emissions from Fuels / Oil | CO2 | 2 983 | 0.5% | 89% |
| 45 | 1A2a | Iron and Steel / gas | CO2 | 2 777 | 0.4% | 90% |
| 46 | 2A2 | Lime Production | CO2 | 2 712 | 0.4% | 90% |
| 47 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels | CO2 | 2 557 | 0.4% | 91% |
| 48 | 2B4 | Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production | N2O | 2 384 | 0.4% | 91% |
| 49 | 5D | Wastewater treatment and discharge | N2O | 2 299 | 0.4% | 91% |
| 50 | 1A3d | Domestic navigation | CO2 | 2 276 | 0.4% | 92% |
| 51 | 1A2c | Chemicals / coal | CO2 | 2 123 | 0.3% | 92% |
| 52 | 5C | Incineration and open burning of waste | CO2 | 2 110 | 0.3% | 92% |
| 53 | 1A4a | Commercial/Institutional / coal | CO2 | 2 078 | 0.3% | 93% |
| 54 | 1A2d | Pulp, Paper and Print / gas | CO2 | 2 063 | 0.3% | 93% |
| 55 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / coal | CO2 | 2 053 | 0.3% | 93% |
| 56 | 1A4b | Residential / coal | CO2 | 1 957 | 0.3% | 94% |
| 57 | 1A2a | Iron and Steel / oil | CO2 | 1 725 | 0.3% | 94% |
| 58 | 1B2b | Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas | CH4 | 1 703 | 0.3% | 94% |
| 59 | 4B2 | Land converted to Cropland | N2O | 1 683 | 0.3% | 94% |
| 60 | 0.00 | Indirect CO2 | CO2 | 1 659 | 0.3% | 95% |
| 61 | 4B1 | Cropland remaining Cropland | CO2 | 1 538 | 0.2% | 95% |
| 62 | 1A2d | Pulp, Paper and Print / oil | CO2 | 1 386 | 0.2% | 95% |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

(*) Analyse avec UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)

## Tableau 360 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2023 – analyse des évolutions des émissions avec UTCATF – Tier1

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — s_cle_avec_UTCATF.xlsx/s_cle_evol

**EVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES EVOLUTIONS D'EMISSIONS AVEC UTCATF (*) - Périmètre France UE**

| rang | Classement Source / Combustible | | Gaz à effet de serre direct | $CO_2$ équivalent (kt) | $CO_2$ équivalent (kt) | Evaluation de l'évolution (**) | Contribution à l'évolution (%) | Cumul (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CRT | Libellé | | 1990 | 2023 | | | 2023 |
| 1 | 1A3b | Road Transportation | CO2 | 114 051 | 115 656 | 0.066 | 17.2% | 17% |
| 2 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / coal | CO2 | 37 412 | 4 171 | 0.031 | 8.2% | 25% |
| 3 | 4A2 | Land converted to Forest Land | CO2 | 20 815 | 14 971 | 0.021 | 5.4% | 31% |
| 4 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / gas | CO2 | 970 | 11 283 | 0.017 | 4.4% | 35% |
| 5 | 1A4b | Residential / oil | CO2 | 30 915 | 9 596 | 0.016 | 4.3% | 39% |
| 6 | 2B3 | Adipic Acid Production | N2O | 12 656 | 10 | 0.013 | 3.4% | 43% |
| 7 | 2F1 | Refrigeration and Air Conditioning | HFC | 0 | 7 609 | 0.012 | 3.1% | 46% |
| 8 | 4G | Harvested wood products | CO2 | 5 368 | 486 | 0.011 | 2.8% | 49% |
| 9 | 3A | Enteric Fermentation | CH4 | 46 750 | 36 841 | 0.010 | 2.7% | 51% |
| 10 | 1A4b | Residential / gas | CO2 | 21 064 | 19 890 | 0.010 | 2.6% | 54% |
| 11 | 1A4a | Commercial/Institutional / gas | CO2 | 8 096 | 11 052 | 0.009 | 2.4% | 56% |
| 12 | 1A4a | Commercial/Institutional / oil | CO2 | 16 555 | 5 050 | 0.009 | 2.3% | 59% |
| 13 | 4B2 | Land converted to Cropland | CO2 | 25 858 | 11 169 | 0.009 | 2.3% | 61% |
| 14 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels | CO2 | 2 557 | 7 068 | 0.008 | 2.2% | 63% |
| 15 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / gas | CO2 | 3 446 | 6 030 | 0.006 | 1.6% | 65% |
| 16 | 5A | Solid Waste Disposal | CH4 | 12 457 | 11 667 | 0.006 | 1.5% | 66% |
| 17 | 2B2 | Nitric Acid Production | N2O | 5 663 | 196 | 0.005 | 1.4% | 68% |
| 18 | 1B1a | Coal Mining and handling | CH4 | 5 354 | 1 | 0.005 | 1.4% | 69% |
| 19 | 1A1b | Petroleum Refining / oil | CO2 | 11 413 | 4 230 | 0.005 | 1.3% | 70% |
| 20 | 4C2 | Land converted to Grassland | CO2 | 4 905 | 3 779 | 0.004 | 1.2% | 72% |
| 21 | 4A1 | Forest Land remaining Forest Land | CO2 | 24 718 | 36 165 | 0.004 | 1.1% | 73% |
| 22 | 2B9 | Fluorochemical production | HFC | 4 202 | 19 | 0.004 | 1.1% | 74% |
| 23 | 1A4c | Agriculture/Forestry/Fishing / oil | CO2 | 10 905 | 9 648 | 0.004 | 1.1% | 75% |
| 24 | 3D1 | Direct N2O emissions from managed soils | N2O | 17 711 | 13 879 | 0.004 | 1.0% | 76% |
| 25 | 1A2f | Non-metallic minerals / coal | CO2 | 4 769 | 781 | 0.004 | 0.9% | 77% |
| 26 | 4E | Settlements | CO2 | 3 916 | 4 765 | 0.003 | 0.9% | 78% |
| 27 | 2C1 | Iron and Steel Production | CO2 | 15 789 | 8 115 | 0.003 | 0.9% | 79% |
| 28 | 2C3 | Aluminium Production | PFC | 3 211 | 20 | 0.003 | 0.8% | 79% |
| 29 | 3B | Manure Management | CH4 | 6 791 | 6 428 | 0.003 | 0.8% | 80% |
| 30 | 1A3a | Domestic Aviation | CO2 | 3 631 | 4 375 | 0.003 | 0.8% | 81% |
| 31 | 1A1a | Public Electricity and Heat Production / oil | CO2 | 8 209 | 3 601 | 0.003 | 0.7% | 82% |
| 32 | 1A2f | Non-metallic minerals / oil | CO2 | 6 508 | 2 526 | 0.003 | 0.7% | 82% |
| 33 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / oil | CO2 | 3 156 | 482 | 0.002 | 0.6% | 83% |
| 34 | 1A2f | Non-metallic minerals / gas | CO2 | 3 433 | 3 771 | 0.002 | 0.6% | 84% |
| 35 | 2B4 | Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production | N2O | 2 384 | 35 | 0.002 | 0.6% | 84% |
| 36 | 2A1 | Cement Production | CO2 | 10 937 | 5 675 | 0.002 | 0.6% | 85% |
| 37 | 1A4b | Residential / biomass | CH4 | 4 764 | 1 782 | 0.002 | 0.5% | 85% |
| 38 | 1A4a | Commercial/Institutional / coal | CO2 | 2 078 | 119 | 0.002 | 0.5% | 86% |
| 39 | 1A2a | Iron and Steel / coal | CO2 | 4 253 | 1 559 | 0.002 | 0.5% | 86% |
| 40 | 1A4b | Residential / coal | CO2 | 1 957 | 77 | 0.002 | 0.5% | 87% |
| 41 | 1A2e | Food Processing, Beverages and Tobacco / coal | CO2 | 2 053 | 166 | 0.002 | 0.5% | 87% |
| 42 | 1A1b | Petroleum Refining / gas | CO2 | 36 | 1 176 | 0.002 | 0.5% | 88% |
| 43 | 5D | Wastewater treatment and discharge | CH4 | 1 313 | 1 874 | 0.002 | 0.4% | 88% |
| 44 | 1A2c | Chemicals / oil | CO2 | 4 871 | 2 151 | 0.002 | 0.4% | 89% |
| 45 | 1A2a | Iron and Steel / oil | CO2 | 1 725 | 137 | 0.002 | 0.4% | 89% |
| 46 | 2B1 | Ammonia Production | CO2 | 3 056 | 1 053 | 0.001 | 0.4% | 89% |
| 47 | 1A2f | Non-metallic minerals / other fossil fuels | CO2 | 340 | 1 091 | 0.001 | 0.4% | 90% |
| 48 | 5D | Wastewater treatment and discharge | N2O | 2 299 | 2 355 | 0.001 | 0.4% | 90% |
| 49 | 2B10 | Chemical Industry / Other | CO2 | 1 272 | 1 682 | 0.001 | 0.4% | 91% |
| 50 | 3D2 | Indirect N2O Emissions from managed soils | N2O | 5 309 | 4 288 | 0.001 | 0.4% | 91% |
| 51 | 4C1 | Grassland remaining Grassland | CO2 | 1 072 | 651 | 0.001 | 0.3% | 91% |
| 52 | 1A5a | Other stationary | CO2 | 4 464 | 2 103 | 0.001 | 0.3% | 92% |
| 53 | 1A2d | Pulp, Paper and Print / oil | CO2 | 1 386 | 139 | 0.001 | 0.3% | 92% |
| 54 | 2B9 | Fluorochemical production | PFC | 1 084 | 0 | 0.001 | 0.3% | 92% |
| 55 | 1A2d | Pulp, Paper and Print / coal | CO2 | 1 021 | 0 | 0.001 | 0.3% | 92% |
| 56 | 1B2a | Fugitive Emissions from Fuels / Oil | CO2 | 2 983 | 1 279 | 0.001 | 0.3% | 93% |
| 57 | 4B2 | Land converted to Cropland | N2O | 1 683 | 443 | 0.001 | 0.3% | 93% |
| 58 | 1A2b | Non-Ferrous Metals / coal | CO2 | 942 | 6 | 0.001 | 0.2% | 93% |
| 59 | 1A1c | Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal | CO2 | 4 054 | 2 035 | 0.001 | 0.2% | 93% |
| 60 | 1A2c | Chemicals / coal | CO2 | 2 123 | 787 | 0.001 | 0.2% | 94% |
| 61 | 1A3b | Road Transportation | CH4 | 1 112 | 137 | 0.001 | 0.2% | 94% |
| 62 | 5B | Biological treatment of solid waste | CH4 | 112 | 654 | 0.001 | 0.2% | 94% |
| 63 | 1A2c | Chemicals / other fossil fuels | CO2 | 470 | 884 | 0.001 | 0.2% | 94% |
| 64 | 1A3b | Road Transportation | N2O | 785 | 1 062 | 0.001 | 0.2% | 95% |
| 65 | 2F4 | Aerosols | HFC | 0 | 550 | 0.001 | 0.2% | 94.8% |
| 66 | 3H | Urea application | CO2 | 865 | 1 092 | 0.001 | 0.2% | 95.0% |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | **Total (*)** | | | **637 967** | **451 119** | | | |

(*) Analyse avec UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)

(**) Analyse de l'évolution selon les bonnes pratiques du GIEC (cf. "IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories", équation 4.2, p. 4.15, vol. 1, chap.4)

# TIER 2 – Analyse avec UTCATF

**Tableau 361 : Évaluation des catégories clés 2023 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 2**

| EVALUATION DES SOURCES CLES - ANALYSE EN NIVEAUX D'EMISSIONS TIER 2 (*) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 | | | | | | | | CITEPA-s_clés_tier2-GES.xlsx/KCA T2 niveau | |
| A | B | C | D | E | F | G | H | | |
| Code des catégories de source du GIEC | Catégorie de source du GIEC / combustible | Gaz | Emissions 2023 kt CO2e | \|Emissions\| 2023 kt CO2e | Incertitude sur les émissions (%) | Evaluation du niveau (%) | Total cumulatif de la colonne G | Catégorie clé Tier2 (à 90%) | Catégorie clé Tier1 (à 95%) |
| 5A | Solid Waste Disposal | CH4 | 11 667 | 11 667 | 176 | 20.96 | 21.0 | 1 | 7 |
| 3D2 | Indirect N2O Emissions from managed soils | N2O | 4 288 | 4 288 | 191 | 8.38 | 29.3 | 2 | 23 |
| 4A2 | Land converted to Forest Land | CO2 | -14 971 | 14 971 | 51 | 7.81 | 37.1 | 3 | 5 |
| 4A1 | Forest Land remaining Forest Land | CO2 | -36 165 | 36 165 | 18 | 6.66 | 43.8 | 4 | 3 |
| 3A | Enteric Fermentation | CH4 | 36 841 | 36 841 | 16 | 5.96 | 49.8 | 5 | 2 |
| 3D1 | Direct N2O emissions from managed soils | N2O | 13 879 | 13 879 | 41 | 5.82 | 55.6 | 6 | 6 |
| 4B2 | Land converted to Cropland | CO2 | 11 169 | 11 169 | 41 | 4.68 | 60.3 | 7 | 9 |
| 3B | Manure Management | N2O | 2 770 | 2 770 | 150 | 4.25 | 64.5 | 8 | 31 |
| 5D | Wastewater treatment and discharge | N2O | 2 355 | 2 355 | 106 | 2.55 | 67.1 | 9 | 33 |
| 1A3b | Road transportation | CO2 | 115 656 | 115 656 | 2 | 2.28 | 69.4 | 10 | 1 |
| 2F1 | Refrigeration and Air Conditioning | HFC | 7 609 | 7 609 | 28 | 2.20 | 71.6 | 11 | 14 |
| 5D | Wastewater treatment and discharge | CH4 | 1 874 | 1 874 | 106 | 2.03 | 73.6 | 12 | 38 |
| 3B | Manure Management | CH4 | 6 428 | 6 428 | 30 | 2.00 | 75.6 | 13 | 17 |
| 4C2 | Land converted to Grassland | CO2 | -3 779 | 3 779 | 51 | 1.97 | 77.6 | 14 | 26 |
| 1A4b | Residential / biomass | CH4 | 1 782 | 1 782 | 100 | 1.82 | 79.4 | 15 | 40 |
| 4E | Settlements | CO2 | 4 765 | 4 765 | 32 | 1.56 | 80.9 | 16 | 21 |
| 2C1 | Iron and Steel Production | CO2 | 8 115 | 8 115 | 14 | 1.17 | 82.1 | 17 | 13 |
| 1A4b | Residential / gas | CO2 | 19 890 | 19 890 | 5 | 1.10 | 83.2 | 18 | 4 |
| 1A4c | Agriculture/forestry/fishing / oil | N2O | 788 | 788 | 100 | 0.81 | 84.0 | 19 | |
| 1B2b | Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas | CH4 | 729 | 729 | 100 | 0.75 | 84.8 | 20 | |
| 5B | Biological treatment of solid waste | CH4 | 654 | 654 | 101 | 0.68 | 85.4 | 21 | |
| 4C1 | Grassland remaining Grassland | CO2 | -651 | 651 | 100 | 0.67 | 86.1 | 22 | |
| 4B1 | Cropland remaining Cropland | CO2 | 611 | 611 | 100 | 0.63 | 86.7 | 23 | |
| 1A4a | Commercial/institutional / gas | CO2 | 11 052 | 11 052 | 5 | 0.61 | 87.3 | 24 | 10 |
| 1A4c | Agriculture/forestry/fishing / oil | CO2 | 9 648 | 9 648 | 5 | 0.53 | 87.9 | 25 | 11 |
| 1A4b | Residential / oil | CO2 | 9 596 | 9 596 | 5 | 0.53 | 88.4 | 26 | 12 |
| 2A1 | Cement production | CO2 | 5 675 | 5 675 | 9 | 0.53 | 88.9 | 27 | 19 |
| 4G | Harvested Wood Products | CO2 | -486 | 486 | 100 | 0.50 | 89.4 | 28 | |
| 1A2g | Manufacturing Industries / Other | CO2 | 6 956 | 6 956 | 7 | 0.48 | 89.9 | 29 | 16 |
| 4B2 | Land converted to Cropland | N2O | 443 | 443 | 100 | 0.45 | 90.4 | 30 | |
| 1A1a | Public electricity and heat production / other fossil fuels | CO2 | 7 068 | 7 068 | 6 | 0.44 | 90.8 | | 15 |
| *** | *** | *** | *** | *** | | | | | |
| **Total (*)** | | | 339 016 | | | | | | |

(*) Analyse avec UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) en valeur absolue ie. Positive.
Ce qui donne un total artficiel qui n'a pour objet que cette analyse des catégories clés.

### Tableau 362 : Évaluation des catégories clés 1990 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 2

**EVALUATION DES SOURCES CLES - ANALYSE EN NIVEAUX D'EMISSIONS TIER 2 (*)**

Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 — CITEPA-s_clés_tier2-GES.xlsx/KCA T2 niveau_1990

| A | B | C | D | E | F | G | H | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Code des catégories de source du GIEC | Catégorie de source du GIEC / combustible | Gaz | Emissions 1990 kt CO2e | \|Emissions\| 1990 kt CO2e | Incertitude sur les émissions (%) | Evaluation du niveau (%) | Total cumulatif colonne G (%) | Catégorie clé Tier2 (à 90%) | Catégorie clé Tier1 (à 95%) |
| 5A | Solid Waste Disposal | CH4 | 12 457 | 12 457 | 176 | 17.07 | 17.1 | 1 | 13 |
| 4A2 | Land converted to Forest Land | CO2 | -20 815 | 20 815 | 51 | 8.28 | 25.4 | 2 | 8 |
| 4B2 | Land converted to Cropland | CO2 | 25 858 | 25 858 | 41 | 8.27 | 33.6 | 3 | 5 |
| 3D2 | Indirect N2O Emissions from managed soils | N2O | 5 309 | 5 309 | 191 | 7.91 | 41.5 | 4 | 26 |
| 3A | Enteric Fermentation | CH4 | 46 750 | 46 750 | 16 | 5.77 | 47.3 | 5 | 2 |
| 3D1 | Direct N2O emissions from managed soils | N2O | 17 711 | 17 711 | 41 | 5.67 | 53.0 | 6 | 9 |
| 3B | Manure Management | N2O | 3 854 | 3 854 | 150 | 4.51 | 57.5 | 7 | 37 |
| 4G | Harvested Wood Products | CO2 | -5 368 | 5 368 | 100 | 4.21 | 61.7 | 8 | 24 |
| 1A4b | Residential / biomass | CH4 | 4 764 | 4 764 | 100 | 3.72 | 65.4 | 9 | 30 |
| 4A1 | Forest Land remaining Forest Land | CO2 | -24 718 | 24 718 | 18 | 3.47 | 68.9 | 10 | 6 |
| 4C2 | Land converted to Grassland | CO2 | -4 905 | 4 905 | 51 | 1.95 | 70.8 | 11 | 27 |
| 2C1 | Iron and Steel Production | CO2 | 15 789 | 15 789 | 14 | 1.74 | 72.6 | 12 | 11 |
| 1A3b | Road transportation | CO2 | 114 051 | 114 051 | 2 | 1.72 | 74.3 | 13 | 1 |
| 3B | Manure Management | CH4 | 6 791 | 6 791 | 30 | 1.61 | 75.9 | 14 | 20 |
| 1B2b | Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas | CH4 | 1 703 | 1 703 | 100 | 1.34 | 77.2 | 15 | 58 |
| 4B2 | Land converted to Cropland | N2O | 1 683 | 1 683 | 100 | 1.31 | 78.6 | 16 | 59 |
| 1A4b | Residential / oil | CO2 | 30 915 | 30 915 | 5 | 1.30 | 79.9 | 17 | 4 |
| 4B1 | Cropland remaining Cropland | CO2 | 1 538 | 1 538 | 100 | 1.20 | 81.1 | 18 | 61 |
| 4E | Settlements | CO2 | 3 916 | 3 916 | 32 | 0.98 | 82.0 | 19 | 36 |
| 1A4b | Residential / gas | CO2 | 21 064 | 21 064 | 5 | 0.89 | 82.9 | 20 | 7 |
| 4C1 | Grassland remaining Grassland | CO2 | -1 072 | 1 072 | 100 | 0.84 | 83.8 | 21 | |
| 2A1 | Cement production | CO2 | 10 937 | 10 937 | 9 | 0.77 | 84.5 | 22 | 16 |
| 2B3 | Adipic Acid Production | N2O | 12 656 | 12 656 | 8 | 0.74 | 85.3 | 23 | 12 |
| 1A4a | Commercial/institutional / oil | CO2 | 16 555 | 16 555 | 5 | 0.70 | 86.0 | 24 | 10 |
| 1A1a | Public electricity and heat production / coal | CO2 | 37 412 | 37 412 | 2 | 0.65 | 86.6 | 25 | 3 |
| 1A4c | Agriculture/forestry/fishing / oil | N2O | 816 | 816 | 100 | 0.64 | 87.3 | 26 | |
| 1A2g | Manufacturing Industries / Other | CO2 | 11 541 | 11 541 | 7 | 0.60 | 87.9 | 27 | 14 |
| | Indirect CO2 | CO2 | 1 659 | 1 659 | 43 | 0.55 | 88.4 | 28 | 60 |
| 1B1a | Coal mining and handling | CH4 | 5 354 | 5 354 | 11 | 0.47 | 88.9 | 29 | 25 |
| 1A4c | Agriculture/forestry/fishing / oil | CO2 | 10 905 | 10 905 | 5 | 0.46 | 89.3 | 30 | 17 |
| 1A3d | Domestic navigation | CO2 | 2 276 | 2 276 | 20 | 0.36 | 89.7 | 31 | 50 |
| 1A4a | Commercial/institutional / gas | CO2 | 8 096 | 8 096 | 5 | 0.34 | 90.0 | 32 | 19 |
| 2B9 | Fluorochemical production | HFC | 4 202 | 4 202 | 10 | 0.33 | 90.4 | 33 | 33 |
| 2B2 | Nitric Acid Production | N2O | 5 663 | 5 663 | 8 | 0.33 | 90.7 | | 22 |
| *** | *** | *** | *** | *** | | | | | |
| **Total (*)** | | | 524 209 | | | | | | |

(*) Analyse avec UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) en valeur absolue ie. Positive.
Ce qui donne un total artficiel qui n'a pour objet que cette analyse des catégories clés.

**Tableau 363 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2023 – analyse des évolutions des émissions avec UTCATF – Tier 2**

**EVALUATION DES SOURCES CLES - ANALYSE EN EVOLUTION D'EMISSIONS TIER 2**

source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 — CITEPA-s_clés_tier2-GES.xlsx/KCAT2tendance

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Code des catégories de source du GIEC | Catégorie de source du GIEC / combustible | Gaz | Emissions 1990 kt CO2e | Emissions 2023 kt CO2e | Incertitude sur les émissions (%) | Evaluation de la tendance avec incertitude (%) | % de contribution à la tendance | Total cumulatif colonne H (%) | Catégorie clé Tier2 (à 90%) | Catégorie clé Tier1 (à 95%) |
| 4G | Harvested Wood Products | CO2 | -5 367.55 | -485.54 | 100 | 1.07 | 13.78 | 13.8 | 1 | 8 |
| 4A2 | Land converted to Forest Land | CO2 | -20 815.40 | -14 971.06 | 51 | 1.06 | 13.62 | 27.4 | 2 | 3 |
| 5A | Solid Waste Disposal | CH4 | 12 456.92 | 11 667.21 | 176 | 0.99 | 12.83 | 40.2 | 3 | 16 |
| 4B2 | Land converted to Cropland | CO2 | 25 858.36 | 11 169.31 | 41 | 0.36 | 4.61 | 44.8 | 4 | 13 |
| 2F1 | Refrigeration and Air Conditioning | HFC | - | 7 609.04 | 28 | 0.34 | 4.35 | 49.2 | 5 | 7 |
| 3D2 | Indirect N2O Emissions from mana | N2O | 5 309.27 | 4 288.45 | 191 | 0.26 | 3.30 | 52.5 | 6 | 50 |
| 4C2 | Land converted to Grassland | CO2 | -4 905.26 | -3 779.00 | 51 | 0.23 | 2.95 | 55.4 | 7 | 20 |
| 1A4b | Residential / biomass | CH4 | 4 763.53 | 1 782.06 | 100 | 0.20 | 2.63 | 58.1 | 8 | 37 |
| 5D | Wastewater treatment and dischar | CH4 | 1 312.94 | 1 874.13 | 106 | 0.17 | 2.20 | 60.3 | 9 | 43 |
| 3A | Enteric Fermentation | CH4 | 46 749.65 | 36 841.49 | 16 | 0.16 | 2.11 | 62.4 | 10 | 9 |
| 3D1 | Direct N2O emissions from manage | N2O | 17 711.22 | 13 879.26 | 41 | 0.16 | 2.01 | 64.4 | 11 | 24 |
| 5D | Wastewater treatment and dischar | N2O | 2 299.22 | 2 354.56 | 106 | 0.14 | 1.86 | 66.3 | 12 | 48 |
| 1A3b | Road transportation | CO2 | 114 050.68 | 115 655.55 | 2 | 0.13 | 1.64 | 67.9 | 13 | 1 |
| 4C1 | Grassland remaining Grassland | CO2 | -1 072.31 | -650.91 | 100 | 0.13 | 1.62 | 69.5 | 14 | 51 |
| 4E | Settlements | CO2 | 3 915.85 | 4 764.64 | 32 | 0.11 | 1.45 | 71.0 | 15 | 26 |
| 4B2 | Land converted to Cropland | N2O | 1 683.08 | 443.27 | 100 | 0.10 | 1.31 | 72.3 | 16 | 57 |
| 3B | Manure Management | CH4 | 6 791.21 | 6 428.04 | 30 | 0.10 | 1.25 | 73.5 | 17 | 29 |
| 2B3 | Adipic Acid Production | N2O | 12 656.40 | 9.94 | 8 | 0.10 | 1.24 | 74.8 | 18 | 6 |
| 5B | Biological treatment of solid waste | CH4 | 112.31 | 654.10 | 101 | 0.09 | 1.19 | 75.9 | 19 | 62 |
| 1A4b | Residential / oil | CO2 | 30 915.18 | 9 596.30 | 5 | 0.09 | 1.13 | 77.1 | 20 | 5 |
| 4A1 | Forest Land remaining Forest Land | CO2 | -24 718.02 | -36 164.76 | 18 | 0.08 | 0.99 | 78.1 | 21 | 21 |
| 1A1a | Public electricity and heat producti | CO2 | 37 411.62 | 4 171.32 | 2 | 0.07 | 0.91 | 79.0 | 22 | 2 |
| 3B | Manure Management | N2O | 3 854.17 | 2 769.55 | 150 | 0.07 | 0.84 | 79.8 | 23 | |
| 1B1a | Coal mining and handling | CH4 | 5 354.10 | 1.31 | 11 | 0.06 | 0.78 | 80.6 | 24 | 18 |
| 4B1 | Cropland remaining Cropland | CO2 | 1 537.91 | 611.26 | 100 | 0.06 | 0.78 | 81.4 | 25 | |
| 1B2b | Fugitive Emissions from Fuels / Nat | CH4 | 1 702.71 | 729.44 | 100 | 0.06 | 0.76 | 82.1 | 26 | |
| 1A4b | Residential / gas | CO2 | 21 064.10 | 19 889.75 | 5 | 0.05 | 0.68 | 82.8 | 27 | 10 |
| 1A1a | Public electricity and heat producti | CO2 | 2 557.16 | 7 068.41 | 6 | 0.05 | 0.67 | 83.5 | 28 | 14 |
| 1A4a | Commercial/institutional / gas | CO2 | 8 095.86 | 11 052.04 | 5 | 0.05 | 0.63 | 84.1 | 29 | 11 |
| 1A4a | Commercial/institutional / oil | CO2 | 16 554.81 | 5 049.72 | 5 | 0.05 | 0.62 | 84.7 | 30 | 12 |
| 2C1 | Iron and Steel Production | CO2 | 15 788.72 | 8 114.68 | 14 | 0.05 | 0.60 | 85.3 | 31 | 27 |
| 4D2 | Land converted to Wetlands | CO2 | 201.21 | 530.51 | 72 | 0.05 | 0.58 | 85.9 | 32 | |
| 2B9 | Fluorochemical production | HFC | 4 202.29 | 19.14 | 10 | 0.04 | 0.56 | 86.5 | 33 | 22 |
| 1A4c | Agriculture/forestry/fishing / oil | N2O | 815.56 | 788.25 | 100 | 0.04 | 0.53 | 87.0 | 34 | 0 |
| 2B2 | Nitric Acid Production | N2O | 5 663.05 | 195.73 | 8 | 0.04 | 0.53 | 87.5 | 35 | 17 |
| 2C3 | Aluminium Production | PFC | 3 210.98 | 20.18 | 12 | 0.04 | 0.51 | 88.0 | 36 | 28 |
| 4H | Other | CH4 | - | 243.94 | 100 | 0.04 | 0.49 | 88.5 | 37 | |
| 1A1a | Public electricity and heat producti | CO2 | 969.99 | 11 282.60 | 2 | 0.04 | 0.48 | 89.0 | 38 | 4 |
| 1A2g | Manufacturing Industries / Other | N2O | 256.38 | 353.81 | 100 | 0.03 | 0.38 | 89.4 | 39 | |
| 2F4 | Aerosols | HFC | - | 549.58 | 28 | 0.02 | 0.31 | 89.7 | 40 | 65 |
| | Non-energy products from fuels and | CO2 | 437.93 | 629.99 | 43 | 0.02 | 0.30 | 90.0 | 41 | |
| 2C7 | Metal Production / Other | SF6 | 742.71 | 1.97 | 30 | 0.02 | 0.29 | 90.3 | | |
| *** | *** | *** | *** | *** | | | | | | |
| **Total (*)** | | | 524 209 | 339 016 | | | | | | |

(*) Analyse avec UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) en valeur absolue ie. Positive.
Ce qui donne un total artficiel qui n'a pour objet que cette analyse des catégories clés.

# Annexe 2

## Incertitudes

## Tableau 364 : Calcul d'incertitude sur les émissions des GES en France en 2023

| CALCUL D'INCERTITUDE SUR LES EMISSIONS DES GES EN FRANCE (KYOTO) / METHODE TIER 1 DU GIEC(*) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 | | | | | | | | | | CITEPA-incertitudes-GES.xlsx |
| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
| Catégorie de source du GIEC / combustible | Gaz | Emissions 1990 kt CO2e | Emissions 2023 kt CO2e | Incertitudes des données sur les activités 2023 (%) | Incertitudes des facteurs d'émission 2023 (%) | Incertitude combinée 2023 (%) | Incertitude combinée en % des émissions totales excl. UTCATF 2023 (%) | Incertitude d'évolution sur les émissions totales excl. UTCATF 2023 (%) | Incertitude combinée en % des émissions totales incl. UTCATF 2023 (%) | Incertitude d'évolution sur les émissions totales incl. UTCATF 2023 (%) |
| 1A1 Energy Industries / oil | CO2 | 19 776 | 7 831 | 1.0 | 2.0 | 2.2 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.03 |
| 1A1 Energy Industries / coal | CO2 | 41 952 | 6 206 | 1.0 | 2.0 | 2.2 | 0.04 | 0.08 | 0.04 | 0.08 |
| 1A1 Energy Industries / gas | CO2 | 1 537 | 12 458 | 1.0 | 2.0 | 2.2 | 0.07 | 0.05 | 0.08 | 0.06 |
| 1A1 Energy Industries / other fossil fuels | CO2 | 2 557 | 7 281 | 1.0 | 6.0 | 6.1 | 0.1 | 0.06 | 0.1 | 0.07 |
| 1A1 Energy Industries / oil | CH4 | 14 | 6.4 | 1.0 | 100 | 100 | 0.002 | 0.001 | 0.002 | 0.001 |
| 1A1 Energy Industries / coal | CH4 | 18 | 0.8 | 1.0 | 100 | 100 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 |
| 1A1 Energy Industries / gas | CH4 | 2.0 | 17 | 1.0 | 100 | 100 | 0.005 | 0.003 | 0.005 | 0.003 |
| 1A1 Energy Industries / other fossil fuels | CH4 | 0.01 | 0.1 | 1.0 | 100 | 100 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1A1 Energy Industries / biomass | CH4 | 49 | 33 | 1.0 | 100 | 100 | 0.009 | 0.000 | 0.010 | 0.000 |
| 1A1 Energy Industries / oil | N2O | 34 | 21 | 1.0 | 100 | 100 | 0.006 | 0.000 | 0.006 | 0.000 |
| 1A1 Energy Industries / coal | N2O | 193 | 9.9 | 1.0 | 100 | 100 | 0.003 | 0.02 | 0.003 | 0.02 |
| 1A1 Energy Industries / gas | N2O | 0.9 | 33 | 1.0 | 100 | 100 | 0.009 | 0.006 | 0.010 | 0.006 |
| 1A1 Energy Industries / other fossil fuels | N2O | 67 | 26 | 1.0 | 100 | 100 | 0.007 | 0.004 | 0.008 | 0.003 |
| 1A1 Energy Industries / biomass | N2O | 104 | 93 | 1.0 | 100 | 100 | 0.02 | 0.004 | 0.03 | 0.005 |
| 1A2 Manufacturing Industries / oil | CO2 | 24 537 | 9 695 | 3.0 | 2.0 | 3.6 | 0.09 | 0.08 | 0.1 | 0.08 |
| 1A2 Manufacturing Industries / coal | CO2 | 15 969 | 3 409 | 3.0 | 2.0 | 3.6 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| 1A2 Manufacturing Industries / gas | CO2 | 22 474 | 20 172 | 3.0 | 2.0 | 3.6 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels | CO2 | 832 | 2 046 | 3.0 | 6.0 | 6.7 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| 1A2 Manufacturing Industries / oil | CH4 | 34 | 8.3 | 3.0 | 100 | 100 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.003 |
| 1A2 Manufacturing Industries / coal | CH4 | 39 | 6.7 | 3.0 | 100 | 100 | 0.002 | 0.004 | 0.002 | 0.003 |
| 1A2 Manufacturing Industries / gas | CH4 | 13 | 12 | 3.0 | 100 | 100 | 0.003 | 0.001 | 0.004 | 0.001 |
| 1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels | CH4 | 1.6 | 9.9 | 3.0 | 100 | 100 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | 0.002 |
| 1A2 Manufacturing Industries / biomass | CH4 | 21 | 90 | 3.0 | 100 | 100 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.01 |
| 1A2 Manufacturing Industries / oil | N2O | 324 | 311 | 3.0 | 100 | 100 | 0.08 | 0.02 | 0.09 | 0.02 |
| 1A2 Manufacturing Industries / coal | N2O | 57 | 10 | 3.0 | 100 | 100 | 0.003 | 0.005 | 0.003 | 0.005 |
| 1A2 Manufacturing Industries / gas | N2O | 12 | 13 | 3.0 | 100 | 100 | 0.003 | 0.001 | 0.004 | 0.001 |
| 1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels | N2O | 2.3 | 14 | 3.0 | 100 | 100 | 0.004 | 0.002 | 0.004 | 0.002 |
| 1A2 Manufacturing Industries / biomass | N2O | 29 | 139 | 3.0 | 100 | 100 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| 1A3a Domestic aviation | CO2 | 3 631 | 4 375 | 5.0 | 1.0 | 5.1 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.06 |
| 1A3a Domestic aviation | CH4 | 2.5 | 1.2 | 5.0 | 174 | 174 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| 1A3a Domestic aviation | N2O | 26 | 32 | 5.0 | 231 | 231 | 0.02 | 0.006 | 0.02 | 0.006 |
| 1A3b Road transportation | CO2 | 114 051 | 115 656 | - | - | 1.9 | 0.6 | 0.2 | 0.7 | 0.2 |
| 1A3b Road transportation | CH4 | 1 112 | 137 | - | - | 9.0 | 0.003 | 0.000 | 0.004 | 0.000 |
| 1A3b Road transportation | N2O | 785 | 1 062 | - | - | 18 | 0.05 | 0.000 | 0.06 | 0.000 |
| 1A3c Railways | CO2 | 1 078 | 333 | 5.0 | 1.0 | 5.1 | 0.005 | 0.004 | 0.005 | 0.005 |
| 1A3c Railways | CH4 | 4.3 | 1.4 | 5.0 | 100 | 100 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1A3c Railways | N2O | 11 | 3.8 | 5.0 | 150 | 150 | 0.002 | 0.001 | 0.002 | 0.001 |
| 1A3d Domestic navigation | CO2 | 2 276 | 1 467 | 20 | 1.0 | 20 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.08 |
| 1A3d Domestic navigation | CH4 | 16 | 22 | 20 | 50 | 54 | 0.003 | 0.002 | 0.004 | 0.002 |
| 1A3d Domestic navigation | N2O | 15 | 9.7 | 20 | 50 | 54 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.001 |
| 1A3e Other transportation | CO2 | 210 | 327 | 20 | 1.0 | 20 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 1A3e Other transportation | CH4 | 3.4 | 1.6 | 20 | 50 | 54 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1A3e Other transportation | N2O | 0.9 | 1.5 | 20 | 50 | 54 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil | CO2 | 58 375 | 24 294 | 5.0 | 2.0 | 5.4 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.3 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal | CO2 | 4 035 | 196 | 5.0 | 2.0 | 5.4 | 0.003 | 0.010 | 0.003 | 0.010 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas | CO2 | 29 480 | 31 289 | 5.0 | 2.0 | 5.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.4 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil f | CO2 | - | 47 | 5.0 | 2.0 | 5.4 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil | CH4 | 205 | 76 | 5.0 | 100 | 100 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal | CH4 | 180 | 7.2 | 5.0 | 100 | 100 | 0.002 | 0.02 | 0.002 | 0.02 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas | CH4 | 73 | 78 | 5.0 | 100 | 100 | 0.02 | 0.005 | 0.02 | 0.006 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil f | CH4 | - | 0.4 | 5.0 | 100 | 100 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / biomass | CH4 | 4 764 | 1 787 | 5.0 | 100 | 100 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.2 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil | N2O | 910 | 819 | 5.0 | 100 | 100 | 0.2 | 0.04 | 0.2 | 0.05 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal | N2O | 17 | 0.8 | 5.0 | 100 | 100 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas | N2O | 14 | 15 | 5.0 | 100 | 100 | 0.004 | 0.001 | 0.004 | 0.001 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil f | N2O | - | 3.3 | 5.0 | 100 | 100 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / biomass | N2O | 367 | 351 | 5.0 | 100 | 100 | 0.09 | 0.02 | 0.1 | 0.02 |
| 1A5 Other | CO2 | 4 464 | 2 103 | 5.0 | 2.0 | 5.4 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 1A5 Other | CH4 | 3.6 | 3.1 | 5.0 | 100 | 100 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| 1A5 Other | N2O | 31 | 11 | 5.0 | 100 | 100 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | 0.002 |
| 1B1 Solid Fuels | CH4 | 5 387 | 12 | 5.0 | 10 | 11 | 0.000 | 0.07 | 0.000 | 0.07 |
| 1B2 Oil and Natural Gas | CO2 | 4 362 | 1 623 | 10 | 2.0 | 10 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 |
| 1B2 Oil and Natural Gas | CH4 | 2 017 | 796 | 10 | 100 | 100 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.10 |
| 1B2 Oil and Natural Gas | N2O | 23 | 7.1 | 10 | 100 | 100 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 2A Mineral industry | CO2 | 14 939 | 8 397 | 5.0 | 7.6 | 9.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| 2B Chemical industry | CO2 | 8 865 | 5 869 | 3.0 | 6.0 | 6.7 | 0.1 | 0.05 | 0.1 | 0.05 |
| 2B Chemical industry | CH4 | 125 | 31 | 3.0 | 100 | 100 | 0.008 | 0.01 | 0.009 | 0.009 |
| 2B Chemical industry | N2O | 21 187 | 277 | - | - | 7.5 | 0.006 | 0.000 | 0.006 | 0.000 |
| 2B Chemical industry | HFC | 4 202 | 19 | 2.0 | 10 | 10 | 0.001 | 0.05 | 0.001 | 0.05 |
| 2B Chemical industry | PFC | 1 084 | - | 2.0 | 10 | 10 | 0.000 | 0.01 | 0.000 | 0.01 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2B Chemical industry | SF6 | 134 | 70 | 30 | 30 | 42 | 0.008 | 0.006 | 0.009 | 0.006 |
| 2C Metal industry | CO2 | 17 679 | 9 433 | 10 | 10 | 14 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 0.3 |
| 2C Metal industry | CH4 | 158 | 20 | 10 | 10 | 14 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.002 |
| 2C Metal industry | PFC | 3 211 | 20 | 2.0 | 12 | 12 | 0.001 | 0.05 | 0.001 | 0.05 |
| 2C Metal industry | SF6 | 743 | 2.0 | 5.0 | 30 | 30 | 0.000 | 0.03 | 0.000 | 0.03 |
| 2D Non-energy products from fuels and solvent use | CO2 | 1 027 | 937 | 15 | 40 | 43 | 0.1 | 0.04 | 0.1 | 0.04 |
| 2D Non-energy products from fuels and solvent use | CH4 | 1.7 | 0.3 | 20 | 100 | 102 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2D Non-energy products from fuels and solvent use | N2O | 1.2 | 2.1 | 20 | 100 | 102 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| 2E Electronic Industry | HFC | 24 | 1.0 | 10 | 100 | 100 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 |
| 2E Electronic Industry | PFC | 184 | 37 | 10 | 30 | 32 | 0.003 | 0.005 | 0.003 | 0.005 |
| 2E Electronic Industry | SF6 | 57 | 4.3 | 10 | 300 | 300 | 0.003 | 0.02 | 0.004 | 0.02 |
| 2E Electronic Industry | NF3 | 15 | 12 | 10 | 70 | 71 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.000 |
| 2F Product uses as substitutes for ODS | HFC | - | 8 370 | 20 | 20 | 28 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 0.6 |
| 2G Other product manufacture and use | CO2 | 30 | 2.8 | 5.0 | 7.6 | 9.1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2G Other product manufacture and use | N2O | 111 | 132 | 20 | 1.0 | 20 | 0.007 | 0.007 | 0.008 | 0.007 |
| 2G Other product manufacture and use | HFC | - | 1.1 | 10 | 20 | 22 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2G Other product manufacture and use | PFC | 206 | 162 | 20 | 10 | 22 | 0.010 | 0.008 | 0.01 | 0.009 |
| 2G Other product manufacture and use | SF6 | 1 299 | 304 | 30 | 20 | 36 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 2H Other | CO2 | 0.04 | 0.09 | 5.0 | 10 | 11 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 3A Enteric Fermentation | CH4 | 46 750 | 36 841 | 5.0 | 15 | 16 | 1.5 | 0.5 | 1.7 | 0.5 |
| 3B Manure Management | CH4 | 6 791 | 6 428 | 5.0 | 30 | 30 | 0.5 | 0.1 | 0.6 | 0.1 |
| 3B Manure Management | N2O | 3 854 | 2 770 | 5.0 | 150 | 150 | 1.1 | 0.05 | 1.2 | 0.09 |
| 3C Rice Cultivation | CH4 | 76 | 44 | - | - | 78 | 0.009 | 0.000 | 0.01 | 0.000 |
| 3D1 Direct N2O emissions from managed soils | N2O | 17 711 | 13 879 | - | - | 41 | 1.5 | 0.05 | 1.7 | 0.06 |
| 3D2 Indirect N2O Emissions from managed soils | N2O | 5 309 | 4 288 | - | - | 191 | 2.2 | 0.02 | 2.4 | 0.03 |
| 3F Field burning of agricultural residues | CH4 | 77 | 15 | 30 | 40 | 50 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.003 |
| 3F Field burning of agricultural residues | N2O | 19 | 3.6 | 30 | 50 | 58 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 3G Liming | CO2 | 915 | 885 | 5.0 | 1.0 | 5.1 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 3H Urea application | CO2 | 865 | 1 092 | 5.0 | 1.0 | 5.1 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| 3I Other carbon-containing fertilizers | CO2 | 125 | 145 | 5.0 | 4.0 | 6.4 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.002 |
| 4A1 Forest land remaining forest land | CO2 | -24 718 | -36 165 | - | - | 18 | | | 1.9 | 0.2 |
| 4A1 Forest land remaining forest land | CH4 | 182 | 59 | - | - | 100 | | | 0.02 | 0.000 |
| 4A1 Forest land remaining forest land | N2O | 91 | 30 | - | - | 100 | | | 0.009 | 0.000 |
| 4A2 Land converted to forest land | CO2 | -20 815 | -14 971 | - | - | 51 | | | 2.3 | 0.09 |
| 4A2 Land converted to forest land | N2O | 0.9 | 0.6 | - | - | 100 | | | 0.000 | 0.000 |
| 4B1 Cropland remaining cropland | CO2 | 1 538 | 611 | - | - | 100 | | | 0.2 | 0.000 |
| 4B1 Cropland remaining cropland | CH4 | 79 | 64 | - | - | 100 | | | 0.02 | 0.000 |
| 4B1 Cropland remaining cropland | N2O | 41 | 34 | - | - | 100 | | | 0.010 | 0.000 |
| 4B2 Land converted to cropland | CO2 | 25 858 | 11 169 | - | - | 41 | | | 1.4 | 0.04 |
| 4B2 Land converted to cropland | CH4 | 117 | 116 | - | - | 100 | | | 0.03 | 0.000 |
| 4B2 Land converted to cropland | N2O | 1 683 | 443 | - | - | 100 | | | 0.1 | 0.000 |
| 4C1 Grassland remaining grassland | CO2 | -1 072 | -651 | - | - | 100 | | | 0.2 | 0.000 |
| 4C1 Grassland remaining grassland | CH4 | 127 | 118 | - | - | 100 | | | 0.03 | 0.000 |
| 4C1 Grassland remaining grassland | N2O | 57 | 52 | - | - | 100 | | | 0.02 | 0.000 |
| 4C2 Land converted to grassland | CO2 | -4 905 | -3 779 | - | - | 51 | | | 0.6 | 0.006 |
| 4C2 Land converted to grassland | CH4 | 82 | 18 | - | - | 100 | | | 0.005 | 0.000 |
| 4C2 Land converted to grassland | N2O | 5.6 | 4.5 | - | - | 100 | | | 0.001 | 0.000 |
| 4D1 Wetlands remaining wetlands | CO2 | 265 | 54 | - | - | 72 | | | 0.01 | 0.000 |
| 4D1 Wetlands remaining wetlands | CH4 | - | - | - | - | 100 | | | 0.000 | 0.000 |
| 4D1 Wetlands remaining wetlands | N2O | - | 1.6 | - | - | 100 | | | 0.000 | 0.000 |
| 4D2 Land converted to wetlands | CO2 | 201 | 531 | - | - | 72 | | | 0.1 | 0.000 |
| 4D2 Land converted to wetlands | CH4 | 5.9 | 6.6 | - | - | 100 | | | 0.002 | 0.000 |
| 4D2 Land converted to wetlands | N2O | 2.2 | 26 | - | - | 100 | | | 0.008 | 0.000 |
| 4E Settlements | CO2 | 3 916 | 4 765 | - | - | 32 | | | 0.4 | 0.006 |
| 4E Settlements | CH4 | 42 | 40 | - | - | 100 | | | 0.01 | 0.000 |
| 4E Settlements | N2O | 182 | 213 | - | - | 100 | | | 0.06 | 0.000 |
| 4F1 Other Land | CO2 | - | - | - | - | 102 | | | 0.000 | 0.000 |
| 4F1 Other Land | CH4 | - | - | - | - | 100 | | | 0.000 | 0.000 |
| 4F1 Other Land | N2O | - | - | - | - | 100 | | | 0.000 | 0.000 |
| 4F2 Other Land | CO2 | 35 | 41 | - | - | 86 | | | 0.01 | 0.000 |
| 4F2 Other Land | CH4 | 0.1 | 0.08 | - | - | 100 | | | 0.000 | 0.000 |
| 4F2 Other Land | N2O | 2.3 | 3.1 | - | - | 100 | | | 0.001 | 0.000 |
| 4G Harvested Wood Products | CO2 | -5 368 | -486 | 10 | 100 | 100 | | | 0.1 | 0.6 |
| 4H Other | CO2 | - | 26 | 5.0 | 30 | 30 | | | 0.002 | 0.002 |
| 4H Other | CH4 | - | 244 | - | - | 100 | | | 0.07 | 0.000 |
| 4H Other | N2O | - | - | - | - | 100 | | | 0.000 | 0.000 |
| 5A Solid Waste Disposal on Land | CH4 | 12 457 | 11 667 | 15 | 175 | 176 | 5.4 | 1.0 | 6.0 | 1.2 |
| 5B Biological treatment of solid waste | CH4 | 112 | 654 | 15 | 100 | 101 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| 5B Biological treatment of solid waste | N2O | 61 | 178 | 15 | 100 | 101 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.03 |
| 5C Incineration and open burning of waste | CO2 | 2 110 | 1 341 | 15 | 20 | 25 | 0.09 | 0.005 | 0.10 | 0.05 |
| 5C Incineration and open burning of waste | CH4 | 54 | 63 | 30 | 50 | 58 | 0.010 | 0.003 | 0.01 | 0.006 |
| 5C Incineration and open burning of waste | N2O | 151 | 70 | 15 | 30 | 34 | 0.006 | 0.002 | 0.007 | 0.003 |
| 5D Wastewater treatment and discharge | CH4 | 1 313 | 1 874 | 35 | 100 | 106 | 0.5 | 0.2 | 0.6 | 0.3 |
| 5D Wastewater treatment and discharge | N2O | 2 299 | 2 355 | 35 | 100 | 106 | 0.7 | 0.1 | 0.7 | 0.3 |
| 0 Indirect CO2 | CO2 | 1 659 | 800 | 15 | 40 | 43 | 0.09 | 0.03 | 0.1 | 0.04 |
| | | | | **Incertitude sur les émissions totales** | | | **6.6** | **1.5** | **8.0** | **1.8** |

UTCAF : Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie

(*) Calcul d' incertitudes selon les bonnes pratiques du GIEC (cf. "IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories", chap.6)

(**) Les activités sont supposées non corrélées d'une année sur l'autre, sauf pour l'UTCAF, et les émissions des décharges ("Solid Waste Disposal on Land")

(***) Lorsque les incertitudes sur les émissions sont calculées avec un modèle distinct, ces incertitudes combinées sont rapportées directement dans la colonne G, résultant en « - » dans les colonnes E et F.

**Tableau 365 : Calcul d'incertitude sur les émissions des GES en France en 1990**

| CALCUL D'INCERTITUDE SUR LES EMISSIONS DES GES EN FRANCE (KYOTO) / METHODE TIER 1 DU GIEC(*) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| source Citepa / format CCNUCC - Mars 2025 | | | | | | | CITEPA-incertitudes-GES.xlsx |
| A | B | C | D | E | F | G | H |
| Catégorie de source du GIEC / combustible | Gaz | Emissions 1990 kt CO2e | Incertitudes des données sur les activités 1990 (%) | Incertitudes des facteurs d'émission 1990 (%) | Incertitude combinée 1990 (%) | Incertitude combinée en % des émissions totales excl. UTCATF 1990 (%) | Incertitude combinée en % des émissions totales incl. UTCATF 1990 (%) |
| 1A1 Energy Industries / oil | CO2 | 19 776 | 1.0 | 2.0 | 2.2 | 0.08 | 0.08 |
| 1A1 Energy Industries / coal | CO2 | 41 952 | 1.0 | 2.0 | 2.2 | 0.2 | 0.2 |
| 1A1 Energy Industries / gas | CO2 | 1 537 | 1.0 | 2.0 | 2.2 | 0.006 | 0.007 |
| 1A1 Energy Industries / other fossil fuels | CO2 | 2 557 | 1.0 | 6.0 | 6.1 | 0.03 | 0.03 |
| 1A1 Energy Industries / oil | CH4 | 14 | 1.0 | 100 | 100 | 0.003 | 0.003 |
| 1A1 Energy Industries / coal | CH4 | 18 | 1.0 | 100 | 100 | 0.003 | 0.003 |
| 1A1 Energy Industries / gas | CH4 | 2.0 | 1.0 | 100 | 100 | 0.000 | 0.000 |
| 1A1 Energy Industries / other fossil fuels | CH4 | 0.01 | 1.0 | 100 | 100 | 0.000 | 0.000 |
| 1A1 Energy Industries / biomass | CH4 | 49 | 1.0 | 100 | 100 | 0.009 | 0.009 |
| 1A1 Energy Industries / oil | N2O | 34 | 1.0 | 100 | 100 | 0.006 | 0.006 |
| 1A1 Energy Industries / coal | N2O | 193 | 1.0 | 100 | 100 | 0.04 | 0.04 |
| 1A1 Energy Industries / gas | N2O | 0.9 | 1.0 | 100 | 100 | 0.000 | 0.000 |
| 1A1 Energy Industries / other fossil fuels | N2O | 67 | 1.0 | 100 | 100 | 0.01 | 0.01 |
| 1A1 Energy Industries / biomass | N2O | 104 | 1.0 | 100 | 100 | 0.02 | 0.02 |
| 1A2 Manufacturing Industries / oil | CO2 | 24 537 | 3.0 | 2.0 | 3.6 | 0.2 | 0.2 |
| 1A2 Manufacturing Industries / coal | CO2 | 15 969 | 3.0 | 2.0 | 3.6 | 0.1 | 0.1 |
| 1A2 Manufacturing Industries / gas | CO2 | 22 474 | 3.0 | 2.0 | 3.6 | 0.1 | 0.2 |
| 1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels | CO2 | 832 | 3.0 | 6.0 | 6.7 | 0.01 | 0.01 |
| 1A2 Manufacturing Industries / oil | CH4 | 34 | 3.0 | 100 | 100 | 0.006 | 0.007 |
| 1A2 Manufacturing Industries / coal | CH4 | 39 | 3.0 | 100 | 100 | 0.007 | 0.007 |
| 1A2 Manufacturing Industries / gas | CH4 | 13 | 3.0 | 100 | 100 | 0.002 | 0.002 |
| 1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels | CH4 | 1.6 | 3.0 | 100 | 100 | 0.000 | 0.000 |
| 1A2 Manufacturing Industries / biomass | CH4 | 21 | 3.0 | 100 | 100 | 0.004 | 0.004 |
| 1A2 Manufacturing Industries / oil | N2O | 324 | 3.0 | 100 | 100 | 0.06 | 0.06 |
| 1A2 Manufacturing Industries / coal | N2O | 57 | 3.0 | 100 | 100 | 0.01 | 0.01 |
| 1A2 Manufacturing Industries / gas | N2O | 12 | 3.0 | 100 | 100 | 0.002 | 0.002 |
| 1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels | N2O | 2.3 | 3.0 | 100 | 100 | 0.000 | 0.000 |
| 1A2 Manufacturing Industries / biomass | N2O | 29 | 3.0 | 100 | 100 | 0.005 | 0.006 |
| 1A3a Domestic aviation | CO2 | 3 631 | 10 | 1.0 | 10 | 0.07 | 0.07 |
| 1A3a Domestic aviation | CH4 | 2.5 | 10 | 174 | 174 | 0.001 | 0.001 |
| 1A3a Domestic aviation | N2O | 26 | 10 | 231 | 231 | 0.01 | 0.01 |
| 1A3b Road transportation | CO2 | 114 051 | - | - | 1.3 | 0.3 | 0.3 |
| 1A3b Road transportation | CH4 | 1 112 | - | - | 14 | 0.03 | 0.03 |
| 1A3b Road transportation | N2O | 785 | - | - | 49 | 0.07 | 0.07 |
| 1A3c Railways | CO2 | 1 078 | 5.0 | 1.0 | 5.1 | 0.01 | 0.01 |
| 1A3c Railways | CH4 | 4.3 | 5.0 | 100 | 100 | 0.001 | 0.001 |
| 1A3c Railways | N2O | 11 | 5.0 | 150 | 150 | 0.003 | 0.003 |
| 1A3d Domestic navigation | CO2 | 2 276 | 20 | 1.0 | 20 | 0.08 | 0.09 |
| 1A3d Domestic navigation | CH4 | 16 | 20 | 50 | 54 | 0.002 | 0.002 |
| 1A3d Domestic navigation | N2O | 15 | 20 | 50 | 54 | 0.001 | 0.002 |
| 1A3e Other transportation | CO2 | 210 | 20 | 1.0 | 20 | 0.008 | 0.008 |
| 1A3e Other transportation | CH4 | 3.4 | 20 | 50 | 54 | 0.000 | 0.000 |
| 1A3e Other transportation | N2O | 0.9 | 20 | 50 | 54 | 0.000 | 0.000 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil | CO2 | 58 375 | 5.0 | 2.0 | 5.4 | 0.6 | 0.6 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal | CO2 | 4 035 | 5.0 | 2.0 | 5.4 | 0.04 | 0.04 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas | CO2 | 29 480 | 5.0 | 2.0 | 5.4 | 0.3 | 0.3 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil f | CO2 | 0.000 | 5.0 | 2.0 | 5.4 | 0.000 | 0.000 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil | CH4 | 205 | 5.0 | 100 | 100 | 0.04 | 0.04 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal | CH4 | 180 | 5.0 | 100 | 100 | 0.03 | 0.03 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas | CH4 | 73 | 5.0 | 100 | 100 | 0.01 | 0.01 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil f | CH4 | 0.000 | 5.0 | 100 | 100 | 0.000 | 0.000 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / biomass | CH4 | 4 764 | 5.0 | 100 | 100 | 0.9 | 0.9 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil | N2O | 910 | 5.0 | 100 | 100 | 0.2 | 0.2 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal | N2O | 17 | 5.0 | 100 | 100 | 0.003 | 0.003 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas | N2O | 14 | 5.0 | 100 | 100 | 0.003 | 0.003 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil f | N2O | 0.000 | 5.0 | 100 | 100 | 0.000 | 0.000 |
| 1A4 Commercial, resid., agriculture... / biomass | N2O | 367 | 5.0 | 100 | 100 | 0.07 | 0.07 |
| 1A5 Other | CO2 | 4 464 | 5.0 | 2.0 | 5.4 | 0.04 | 0.05 |
| 1A5 Other | CH4 | 3.6 | 5.0 | 100 | 100 | 0.001 | 0.001 |
| 1A5 Other | N2O | 31 | 5.0 | 100 | 100 | 0.006 | 0.006 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1B1 Solid Fuels | CH4 | 5 387 | 5.0 | 10 | 11 | 0.1 | 0.1 |
| 1B2 Oil and Natural Gas | CO2 | 4 362 | 10 | 2.0 | 10 | 0.08 | 0.08 |
| 1B2 Oil and Natural Gas | CH4 | 2 017 | 10 | 100 | 100 | 0.4 | 0.4 |
| 1B2 Oil and Natural Gas | N2O | 23 | 10 | 100 | 100 | 0.004 | 0.004 |
| 2A Mineral industry | CO2 | 14 939 | 5.0 | 7.6 | 9.1 | 0.2 | 0.3 |
| 2B Chemical industry | CO2 | 8 865 | 3.0 | 6.0 | 6.7 | 0.1 | 0.1 |
| 2B Chemical industry | CH4 | 125 | 3.0 | 100 | 100 | 0.02 | 0.02 |
| 2B Chemical industry | N2O | 21 187 | - | - | 7.5 | 0.3 | 0.3 |
| 2B Chemical industry | HFC | 4 202 | 2.0 | 10 | 10 | 0.08 | 0.08 |
| 2B Chemical industry | PFC | 1 084 | 2.0 | 10 | 10 | 0.02 | 0.02 |
| 2B Chemical industry | SF6 | 134 | 30 | 30 | 42 | 0.01 | 0.01 |
| 2C Metal industry | CO2 | 17 679 | 10 | 10 | 14 | 0.5 | 0.5 |
| 2C Metal industry | CH4 | 158 | 10 | 10 | 14 | 0.004 | 0.004 |
| 2C Metal industry | PFC | 3 211 | 2.0 | 12 | 12 | 0.07 | 0.07 |
| 2C Metal industry | SF6 | 743 | 5.0 | 30 | 30 | 0.04 | 0.04 |
| 2D Non-energy products from fuels and solvent use | CO2 | 1 027 | 15 | 40 | 43 | 0.08 | 0.08 |
| 2D Non-energy products from fuels and solvent use | CH4 | 1.7 | 20 | 100 | 102 | 0.000 | 0.000 |
| 2D Non-energy products from fuels and solvent use | N2O | 1.2 | 20 | 100 | 102 | 0.000 | 0.000 |
| 2E Electronic Industry | HFC | 24 | 10 | 100 | 100 | 0.004 | 0.005 |
| 2E Electronic Industry | PFC | 184 | 10 | 30 | 32 | 0.01 | 0.01 |
| 2E Electronic Industry | SF6 | 57 | 10 | 300 | 300 | 0.03 | 0.03 |
| 2E Electronic Industry | NF3 | 15 | 10 | 70 | 71 | 0.002 | 0.002 |
| 2F Product uses as substitutes for ODS | HFC | 0.000 | 20 | 20 | 28 | 0.000 | 0.000 |
| 2G Other product manufacture and use | CO2 | 30 | 5.0 | 7.6 | 9.1 | 0.000 | 0.001 |
| 2G Other product manufacture and use | N2O | 111 | 20 | 1.0 | 20 | 0.004 | 0.004 |
| 2G Other product manufacture and use | HFC | 0.000 | 10 | 20 | 22 | 0.000 | 0.000 |
| 2G Other product manufacture and use | PFC | 206 | 20 | 10 | 22 | 0.008 | 0.009 |
| 2G Other product manufacture and use | SF6 | 1 299 | 30 | 20 | 36 | 0.09 | 0.09 |
| 2H Other | CO2 | 0.04 | 5.0 | 10 | 11 | 0.000 | 0.000 |
| 3A Enteric Fermentation | CH4 | 46 750 | 5.0 | 15 | 16 | 1.4 | 1.4 |
| 3B Manure Management | CH4 | 6 791 | 5.0 | 30 | 30 | 0.4 | 0.4 |
| 3B Manure Management | N2O | 3 854 | 5.0 | 50 | 50 | 0.4 | 0.4 |
| 3C Rice Cultivation | CH4 | 76 | - | - | 78 | 0.01 | 0.01 |
| 3D1 Direct N2O emissions from managed soils | N2O | 17 711 | - | - | 41 | 1.3 | 1.4 |
| 3D2 Indirect N2O Emissions from managed soils | N2O | 5 309 | - | - | 191 | 1.9 | 1.9 |
| 3F Field burning of agricultural residues | CH4 | 77 | 30 | 80 | 85 | 0.01 | 0.01 |
| 3F Field burning of agricultural residues | N2O | 19 | 30 | 95 | 100 | 0.003 | 0.004 |
| 3G Liming | CO2 | 915 | 5.0 | 1.0 | 5.1 | 0.009 | 0.009 |
| 3H Urea application | CO2 | 865 | 5.0 | 1.0 | 5.1 | 0.008 | 0.008 |
| 3I Other carbon-containing fertilizers | CO2 | 125 | 5.0 | 4.0 | 6.4 | 0.001 | 0.002 |
| 4A1 Forest land remaining forest land | CO2 | -24 718 | - | - | 18 | | 0.8 |
| 4A1 Forest land remaining forest land | CH4 | 182 | - | - | 100 | | 0.03 |
| 4A1 Forest land remaining forest land | N2O | 91 | - | - | 100 | | 0.02 |
| 4A2 Land converted to forest land | CO2 | -20 815 | - | - | 51 | | 2.0 |
| 4A2 Land converted to forest land | N2O | 0.9 | - | - | 100 | | 0.000 |
| 4B1 Cropland remaining cropland | CO2 | 1 538 | - | - | 100 | | 0.3 |
| 4B1 Cropland remaining cropland | CH4 | 79 | - | - | 100 | | 0.02 |
| 4B1 Cropland remaining cropland | N2O | 41 | - | - | 100 | | 0.008 |
| 4B2 Land converted to cropland | CO2 | 25 858 | - | - | 41 | | 2.0 |
| 4B2 Land converted to cropland | CH4 | 117 | - | - | 100 | | 0.02 |
| 4B2 Land converted to cropland | N2O | 1 683 | - | - | 100 | | 0.3 |
| 4C1 Grassland remaining grassland | CO2 | -1 072 | - | - | 100 | | 0.2 |
| 4C1 Grassland remaining grassland | CH4 | 127 | - | - | 100 | | 0.02 |
| 4C1 Grassland remaining grassland | N2O | 57 | - | - | 100 | | 0.01 |
| 4C2 Land converted to grassland | CO2 | -4 905 | - | - | 51 | | 0.5 |
| 4C2 Land converted to grassland | CH4 | 82 | - | - | 100 | | 0.02 |
| 4C2 Land converted to grassland | N2O | 5.6 | - | - | 100 | | 0.001 |
| 4D1 Wetlands remaining wetlands | CO2 | 265 | - | - | 72 | | 0.04 |
| 4D1 Wetlands remaining wetlands | CH4 | 0.000 | - | - | 100 | | 0.000 |
| 4D1 Wetlands remaining wetlands | N2O | 0.000 | - | - | 100 | | 0.000 |
| 4D2 Land converted to wetlands | CO2 | 201 | - | - | 72 | | 0.03 |
| 4D2 Land converted to wetlands | CH4 | 5.9 | - | - | 100 | | 0.001 |
| 4D2 Land converted to wetlands | N2O | 2.2 | - | - | 100 | | 0.000 |
| 4E Settlements | CO2 | 3.92E+03 | - | - | 32 | | 0.2 |
| 4E Settlements | CH4 | 41.925717 | - | - | 100 | | 0.008 |
| 4E Settlements | N2O | ######### | - | - | 100 | | 0.03 |
| 4F1 Other Land | CO2 | 0.000 | - | - | 102 | | 0.000 |
| 4F1 Other Land | CH4 | 0.000 | - | - | 100 | | 0.000 |
| 4F1 Other Land | N2O | 0.000 | - | - | 100 | | 0.000 |
| 4F2 Other Land | CO2 | 35 | - | - | 86 | | 0.006 |
| 4F2 Other Land | CH4 | 0.1 | - | - | 100 | | 0.000 |
| 4F2 Other Land | N2O | 2.3 | - | - | 100 | | 0.000 |
| 4G Harvested Wood Products | CO2 | -5 368 | 10 | 100 | 100 | | 1.0 |
| 4H Other | CO2 | 0.000 | 5.0 | 30 | 30 | | 0.000 |
| 4H Other | CH4 | 0.000 | - | - | 100 | | 0.000 |
| 4H Other | N2O | 0.000 | - | - | 100 | | 0.000 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5A Solid Waste Disposal on Land | CH4 | 12 457 | 15 | 175 | 176 | 4.0 | 4.2 |
| 5B Biological treatment of solid waste | CH4 | 112 | 15 | 100 | 101 | 0.02 | 0.02 |
| 5B Biological treatment of solid waste | N2O | 61 | 15 | 100 | 101 | 0.01 | 0.01 |
| 5C Incineration and open burning of waste | CO2 | 2 110 | 15 | 20 | 25 | 0.10 | 0.1 |
| 5C Incineration and open burning of waste | CH4 | 54 | 30 | 50 | 58 | 0.006 | 0.006 |
| 5C Incineration and open burning of waste | N2O | 151 | 15 | 30 | 34 | 0.009 | 0.010 |
| 5D Wastewater treatment and discharge | CH4 | 1 313 | 35 | 100 | 106 | 0.3 | 0.3 |
| 5D Wastewater treatment and discharge | N2O | 2 299 | 35 | 100 | 106 | 0.4 | 0.5 |
| 0 Indirect CO2 | CO2 | 1 659 | 15 | 40 | 43 | 0.1 | 0.1 |
| | | | **Incertitude sur les émissions totales** | | | **5.1** | **6.2** |

UTCAF : Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie

(*) Calcul d' incertitudes selon les bonnes pratiques du GIEC (cf. "IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories", chap.6)

(**) Les activités sont supposées non corrélées d'une année sur l'autre, sauf pour l'UTCAF, et les émissions des décharges ("Solid Waste Disposal on Land")

(***) Lorsque les incertitudes sur les émissions sont calculées avec un modèle distinct, ces incertitudes combinées sont rapportées directement dans la colonne G, résultant en « - » dans les colonnes E et F.

# Annexe 3

## Approche de référence Tier 1 du GIEC

L'approche de référence tier 1 du GIEC pour le calcul des émissions de $CO_2$ et la comparaison avec la méthode sectorielle sont présentées dans le corps du rapport à la section 3.2.1.

# Annexe 4

## Plan du contrôle et assurance qualité (MPG paragraphes 34-35)

Le plan et la mise en œuvre du contrôle et assurance qualité sont présentés dans le corps du rapport à la section 1.5.

# Annexe 5

## Descriptions méthodologiques détaillées

Tous les descriptifs méthodologiques détaillés sont dans les chapitres sectoriels du NID. Les détails de toutes les données associées (activités, paramètres, facteurs d'émission) sont fournis dans l'annexe numérique BDD OMINEA joint à l'inventaire des gaz à effet de serre.

Seules les méthodologies des systèmes de gestion des déjections animales et des résidus de cultures sont explicitées dans cette annexe

# Systèmes de gestion des déjections animales (SGDA)

## Systèmes de gestion des déjections animales – Traitement des données pour les bovins, porcins, ovins et caprins

Les données des enquêtes bâtiments d'élevage (1994, 2001, 2008) et pratiques d'élevage (2015) sont retraitées afin de déterminer la part des animaux gérés dans chacun des systèmes suivants :

- Pour les bovins : lisier avec croûte naturelle, lisier sans croûte naturelle, fumier (stockage solide), litière accumulée (pendant moins d'un mois pour les vaches laitières et pendant plus d'un mois pour les autres bovins), pâture.
- Pour les autres animaux : lisier sans croûte naturelle, fumier (stockage solide), pâture.

### Définition de capacités

Les données des enquêtes sont fournies selon une catégorisation qui est globalement différente de celle proposée dans la SAA. Pour faciliter la lecture, on nomme la catégorisation des enquêtes « capacité ». Plusieurs cas peuvent être rencontrés :

- La capacité concerne une seule catégorie animale de la SAA : la correspondance est faite directement entre capacité et catégorie SAA ;
- La capacité concerne plusieurs catégories animales de la SAA : les données de la capacité sont attribuées à chaque catégorie animale de la SAA ;
- La catégorie animale de la SAA est concernée par plusieurs capacités : les données des capacités concernées sont pondérées pour être représentatives de la catégorie animale de la SAA.

Le tableau ci-dessous répertorie les différentes correspondances effectuées entre les capacités des enquêtes bâtiment (1994, 2001, 2008) et les catégories animales de la SAA.

NB : Lorsqu'une capacité concerne plusieurs catégories animales, elle est répétée pour faciliter la lecture.

**Tableau 366 : Correspondances entre "capacité" des enquêtes bâtiment et catégorie animale de la SAA**

| Capacité des enquêtes bâtiment | Conversion de la capacité vers la catégorie animale SAA | Catégorie animale de la SAA |
|---|---|---|
| Vaches laitières | 1,00 | Vaches laitières |
| Vaches nourrices | 1,00 | Vaches nourrices |
| Bovins d'élevage ou maigres | 1,00 | Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans |
| Bovins d'élevage ou maigres | 1,00 | Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans |
| Bovins en engraissement | 1,00 | Génisses de boucherie de plus de 2 ans |
| Bovins d'élevage ou maigres | 1,00 | Mâles de type laitier de plus de 2 ans |
| Bovins d'élevage ou maigres | 1,00 | Mâles de type viande de plus de 2 ans |
| Bovins d'élevage ou maigres | 1,00 | Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans |
| Bovins d'élevage ou maigres | 1,00 | Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans |
| Bovins en engraissement | 1,00 | Génisses de boucherie de 1 à 2 ans |
| Bovins d'élevage ou maigres | 1,00 | Mâles de type laitier de 1 à 2 ans |
| Bovins d'élevage ou maigres | 1,00 | Mâles de type viande de 1 à 2 ans |
| Veaux de boucherie | 1,00 | Veaux de boucherie |
| Autres bovins de - 1 an | 1,00 | Autres femelles de moins de 1 an |
| Autres bovins de - 1 an | 1,00 | Autres mâles de moins de 1 an |
| Truies en attente de saillie | 0,04 | Truies de 50 kg et plus |
| Truies gestantes | 0,79 | Truies de 50 kg et plus |
| Truies en maternité | 0,16 | Truies de 50 kg et plus |
| Truies en maternité | 1,00 | Porcelets non sevrés (<8kg) |
| Porcelets en post- sevrage | 1,00 | Porcelets sevrés de 8 à 30 kg |
| Porcs en engraissement | 1,00 | Porcs à l'engrais de 30 kg et plus |
| Porcs autres | 1,00 | Verrats de 50 kg et plus |
| Brebis laitières | 1,00 | Brebis mères laitières (y c. réforme) |
| Autres ovins d'élevage laitiers | 0,34 | Agnelles |
| Agneaux en engraissement | 1,00 | Autres ovins (y compris béliers) |
| Brebis viandes | 1,00 | Brebis mères allaitantes (y c. réforme) |

| | | |
|---|---|---|
| Autres ovins d'élevage viandes | 0,66 | Agnelles |
| Chèvres | 1,00 | Chèvres (femelles ayant mis bas) |
| Autres caprins d'élevage | 1,00 | Chevrettes |
| Chevreaux en engraissement | 1,00 | Autres caprins (y compris boucs) |

Les coefficients suivants, appliqués pour les truies, proviennent de l'Ifip – Institut du porc [981] :

**Tableau 367 : Paramètres utilisés pour la pondération des capacités truies**

| | Moyenne nationale |
|---|---|
| Intervalle sevrage – 1ère saillie (jours) | 6,2 |
| Taux de fécondation en 1ère saillie (%) | 89% |
| Durée gestation (jours) | 114,5 |
| Durée du cycle sexuel (intervalle entre deux ovulations) (jours) | 21 |
| Age des porcelets au sevrage (jours) | 24,3 |

Ces données nous permettent de faire les hypothèses suivantes concernant les durées passées à chaque stade :

- En attente de saillies : 6,2 jours,
- Gestantes : 89 % x 114,5 + (1 – 89 %) x (114,5 + 21) = 116,8 jours,
- Maternité : 24,3 jours.

L'expression de ces résultats en pourcentage du temps passé donne alors les chiffres proposés dans le Tableau 366.

Les coefficients appliqués pour les agnelles correspondent à une moyenne de valeurs. La première valeur est issue de Vermorel et al. [362] qui fournit des données d'effectifs pour l'année 2007 distinguant les agnelles laitières (agnelage à 13 mois) et les agnelles allaitantes (agnelage à 15 mois). La seconde valeur est issue du Recensement Agricole 2020 [1249] qui fournit des données d'effectifs pour l'année 2020 en distinguant les effectifs lait des effectifs viande pour les agnelles.

Dans les pratiques d'élevage (2015), la terminologie des capacités a été modifiée. Les correspondances suivantes ont été appliquées :

**Tableau 368 : Correspondances entre les capacités des enquêtes bâtiment et les libellés des pratiques d'élevage**

| Capacité des enquêtes bâtiment | Correspondance pratiques d'élevage |
|---|---|
| Vaches laitières | Vaches laitières |
| Vaches nourrices | Vaches allaitantes |
| Bovins d'élevage ou maigres | Génisses de renouvellement |
| Bovins en engraissement | Autres bovins de boucherie |
| Veaux de boucherie | Veaux de boucherie |
| Autres bovins de - 1 an | Jeunes bovins de moins de 8 mois |
| Truies en attente de saillie | Truies non saillies |
| Truies gestantes | Truies en gestation |
| Truies en maternité | Truies en maternité |
| Porcelets en post- sevrage | Porcelets en post-sevrage |
| Porcs en engraissement | Porcs à l'engrais |
| Porcs autres | Pas de correspondance |
| Brebis laitières | Brebis laitières |
| Autres ovins d'élevage laitiers | Agnelles de renouvellement (sans distinction) |
| Agneaux en engraissement | Agneaux |
| Brebis viandes | Brebis nourrices |
| Autres ovins d'élevage viandes | Agnelles de renouvellement (sans distinction) |
| Chèvres | Chèvres |
| Autres caprins d'élevage | Chevrettes |
| Chevreaux en engraissement | Pas de correspondance |

Lorsqu'il n'y a pas de correspondance dans les pratiques d'élevage 2015, les modes de gestion sont maintenus constants, égaux à ceux de 2008. C'est le cas pour les verrats et les autres caprins (y compris boucs).

Pour les agnelles, la distinction entre les laitières et les allaitantes n'est plus fournie dans les pratiques d'élevage 2015 : les coefficients précités ne sont alors plus appliqués.

### Définition des types de sol

Les enquêtes bâtiment fournissent des informations sur la répartition des animaux par type de sol, catégorisés par capacité (voir ci-dessus). Les types de sols déclarés varient selon les capacités. L'objectif est ensuite de faire le lien entre type de sol et type de déjections produites.

L'attribution des types de déjections produites par type de sol a été faite :

- Pour les bovins : avec l'appui de l'Institut de l'Elevage (IDELE)
- Pour les porcins : avec l'appui de l'Institut du Porc (IFIP)
- Pour les ovins et les caprins : dans les enquêtes bâtiment, les types de sol proposés sont tous des sols de type fumier.

**Tableau 369 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches laitières**

| Vaches laitières | | | | % Pâture | % Lisier avec croûte naturelle | % Lisier sans croûte naturelle | % Litière accumulée < 1 mois | % Stockage solide |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plein-air intégral | | | | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Stabulation (ou étable) entravée | avec litière | | | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| | sans litière | | | 0% | 0% | 100% | 0% | 0% |
| Stabulation libre<br><br>avec aire d'exercice totalement couverte | pente paillée | | | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| | litière accumulée | aire d'exercice raclée | fumier | 0% | 0% | 15% | 7% | 78% |
| | | | lisier | 0% | 60% | 0% | 7% | 33% |
| | | aire d'exercice caillebotis (lisier) | | 0% | 0% | 60% | 7% | 33% |
| | | aire paillée intégrale | | 0% | 0% | 0% | 17% | 83% |
| | logettes | aire d'exercice bétonnée | fumier | 0% | 0% | 25% | 0% | 75% |
| | | | lisier | 0% | 100% | 0% | 0% | 0% |
| | | aire d'exercice caillebotis | | 0% | 0% | 100% | 0% | 0% |
| Stabulation libre<br><br>avec aire d'exercice non couverte<br><br>ou incomplètement couverte | pente paillée | alimentation distribuée | | 0% | 10% | 15% | 0% | 75% |
| | | alimentation silo libre-service | | 0% | 15% | 15% | 0% | 70% |
| | litière accumulée | système fumier | alimentation distribuée | 0% | 10% | 13% | 7% | 71% |
| | | | alimentation silo libre-service | 0% | 15% | 11% | 7% | 67% |
| | | système lisier | alimentation distribuée | 0% | 60% | 0% | 7% | 33% |
| | | | alimentation silo libre-service | 0% | 60% | 0% | 7% | 33% |
| | logettes | système fumier | alimentation distribuée | 0% | 10% | 23% | 0% | 68% |
| | | | alimentation silo libre-service | 0% | 15% | 21% | 0% | 64% |
| | | système lisier | alimentation distribuée | 0% | 100% | 0% | 0% | 0% |
| | | | alimentation silo libre-service | 0% | 100% | 0% | 0% | 0% |

**Tableau 370 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches allaitantes et autres bovins**

| Vaches allaitantes et autres bovins | | | | % Pâture | % Lisier avec croûte naturelle | % Lisier sans croûte naturelle | % Litière accumulée > 1 mois | % Stockage solide |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plein-air intégral | | | | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Stabulation (ou étable) entravée | avec litière | | | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| | sans litière | | | 0% | 0% | 100% | 0% | 0% |
| Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte | pente paillée | | | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| | litière accumulée | aire d'exercice raclée | fumier | 0% | 0% | 13% | 14% | 73% |
| | | | lisier | 0% | 50% | 0% | 14% | 36% |
| | | aire d'exercice caillebotis (lisier) | | 0% | 0% | 50% | 14% | 36% |
| | | aire paillée intégrale | | 0% | 0% | 0% | 29% | 71% |
| | logettes | aire d'exercice bétonnée | fumier | 0% | 0% | 25% | 0% | 75% |
| | | | lisier | 0% | 100% | 0% | 0% | 0% |
| | | aire d'exercice caillebotis | | 0% | 0% | 100% | 0% | 0% |
| Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte | pente paillée | alimentation distribuée | | 0% | 10% | 15% | 0% | 75% |
| | | alimentation silo libre-service | | 0% | 15% | 15% | 0% | 70% |
| | litière accumulée | système fumier | alimentation distribuée | 0% | 10% | 10% | 14% | 66% |
| | | | alimentation silo libre-service | 0% | 15% | 9% | 14% | 62% |
| | | système lisier | alimentation distribuée | 0% | 50% | 0% | 14% | 36% |
| | | | alimentation silo libre-service | 0% | 50% | 0% | 14% | 36% |
| | logettes | système fumier | alimentation distribuée | 0% | 10% | 23% | 0% | 68% |
| | | | alimentation silo libre-service | 0% | 15% | 21% | 0% | 64% |
| | | système lisier | alimentation distribuée | 0% | 100% | 0% | 0% | 0% |
| | | | alimentation silo libre-service | 0% | 100% | 0% | 0% | 0% |

Les types de sol des enquêtes bâtiment pour les porcins ont été simplifiés dans le tableau ci-dessous : certaines distinctions supplémentaires étaient en effet proposées mais n'impactent pas sur la détermination du type de déjection, ni sur les quantités de paille apportées.

**Tableau 371 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut du Porc**

| Catégories d'animaux | Type de sol simplifié | | Types de déjections |
|---|---|---|---|
| Truies en attente de saillie, gestantes ou en maternité | Plein air | | 100% plein air |
| | Semi plein-air | | 100% lisier |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert) | Sol caillebotis total ou caillebotis partiel | 100% lisier |
| | | Sol béton ou légèrement paillé et raclé | 100% fumier |
| | | Sol paillé (litière accumulée) | 100% fumier |
| Post-sevrage | Plein air | | 100% plein air |
| | Semi plein-air | | 100% lisier |
| | En maternité | (les porcelets restent dans le local maternité après sevrage) | 100% lisier |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert) | Sol caillebotis partiel ou total | 100% lisier |
| | | Sol béton ou légèrement paillé et raclé | 100% fumier |
| | | Sol paillé (litière accumulée) | 100% fumier |
| Engraissement | Plein air | | 100% plein air |
| | Semi plein-air | | 100% lisier |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert) | Sol caillebotis partiel ou caillebotis total | 100% lisier |
| | | Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé | 100% fumier |
| | | Sol paillé (litière accumulée) | 100% fumier |
| Autres porcs | Plein air | | 100% plein air |
| | Semi plein-air | | 100% lisier |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert) | Sol caillebotis total ou partiel | 100% lisier |
| | | Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé | 100% fumier |
| | | Sol paillé (litière accumulée) | 100% fumier |

### Mise en cohérence des séries

Dans l'enquête pratiques d'élevage, tout comme pour les capacités, la terminologie des types de sol a été modifiée. Le Citepa a retraité les données disponibles pour obtenir les correspondances avec les types de sol des enquêtes bâtiment.

Les résultats de l'enquête pratiques d'élevage 2015 sont fournis au niveau des nouvelles régions et au niveau national. En revanche, les résultats ne sont pas fournis pour l'ensemble des nouvelles régions mais uniquement pour celles dans lesquelles les espèces sont le plus présentes. Par exemple, pour les vaches laitières, les données sont fournies au niveau national, ainsi que pour la Bretagne, la Normandie et les Pays de la Loire. Ces 3 régions représentent plus de la moitié des effectifs pour l'année enquêtée (2015).

Pour les bovins, les résultats proposent une répartition des animaux pour :

- La stabulation : libre, entravée, box ou logette ;
- La nature du sol : litière paillée, litière sciure ou copeaux, pente paillée, caillebotis, matelas ou tapis, autre ;
- Les caractéristiques de l'aire d'exercice : distincte, couverte, mode d'évacuation (raclée fumier, raclée lisier, caillebotis, autres)

Les retraitements effectués par le Citepa se décomposent en plusieurs étapes :

- Etape 1 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre stabulation entravée et stabulation non entravée ;
- Etape 2 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre litière, caillebotis et matelas ;
- Etape 3 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre aire d'exercice distincte et non distincte ;
- Etape 4 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre aire d'exercice couverte et non couverte ;
- Etape 5 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre logettes, pente paillée et litière accumulée ;
- Etape 6 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre aire raclée fumier, aire raclée lisier, aire caillebotis.

A noter : des données issues du Recensement agricole 2020 ont pu être transmises pour intégration dans l'inventaire [1249]. Ont été valorisées ici les données d'effectifs gérés en plein-air intégral pour les vaches laitières et allaitantes. La dernière donnée disponible concernant le système en plein-air intégral datait de l'enquête 2008. Par souci de simplification, la valeur issue du recensement agricole 2020 a été attribuée à l'année 2015. Pour la période 2008-2015, les données ont été interpolées. La valeur du recensement 2020 est ensuite maintenue sur la période 2015-année en cours.

**Tableau 372 : Premiers retraitements des données pratiques d'élevage 2015 par le Citepa pour les bovins**

| Données disponibles dans les enquêtes pratiques d'élevage 2015 | | | Etape 1 | Etape 2 | Etape 3 | Etape 4 | Etape 5 | Etape 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stabulation (total = 100%) | Libre | | | | | | | |
| | Entravée | | % Entravé | | | | | |
| | Box ou logettes | | | | | | % Logettes | |
| Nature du sol (total = 100%) | Litière paillée | | | % Litière | | | | |
| | Litière sciure ou copeaux | | | % Litière | | | | |
| | Pente paillée | | | % Litière | | | % Pente paillée | |
| | Caillebotis | | | % Caillebotis | | | | |
| | Matelas ou tapis | | | % Matelas | | | | |
| | Autre | | | Non pris en compte | | | | |
| Aire d'exercice | Élevage avec aire d'exercice distincte | | | | % Aire d'exercice distincte | | | |
| | Part des aires d'exercice couvertes | | | | | % Aire d'exercice couverte | | |
| | Répartition des aires d'exercice selon le mode d'évacuation des déjections (total = 100%) | Raclée fumier | | | | | | % Raclée fumier |
| | | Raclée lisier | | | | | | % Raclée lisier |
| | | Caillebotis | | | | | | % Caillebotis |
| | | Autre | | | | | | |
| Solde recalculé Citepa | | | % Non entravé | | % Aire d'exercice non distincte | % Aire d'exercice non couverte | % Litière accumulée | |

**Tableau 373 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 (et recensement agricole 2020) - Bovins**

| Types de sols des enquêtes bâtiment | | | | Retraitements spécifiques des données sur les pratiques d'élevage 2015 |
|---|---|---|---|---|
| Plein-air intégral | | | | Attribution du pourcentage issu du Recensement Agricole 2020 |
| Stabulation (ou étable) entravée | avec litière | | | % Entravée x % Litière |
| | sans litière | | | % Entravée x (% Caillebotis+ % Matelas) |
| Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte | pente paillée | | | % Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Pente paillée |
| | litière accumulée | aire d'exercice raclée | fumier | % Non entravée x % Aire d'exercice distincte x % Aire d'exercice couverte x % Litière accumulée x % Raclée fumier |
| | | | lisier | % Non entravée x % Aire d'exercice distincte x % Aire d'exercice couverte x % Litière accumulée x % Raclée lisier |
| | | aire d'exercice caillebotis (lisier) | | % Non entravée x % Aire d'exercice distincte x % Aire d'exercice couverte x % Litière accumulée x % Caillebotis |
| | | aire paillée intégrale | | % Non entravée x % Aire d'exercice non distincte x Aire d'exercice couverte x % Litière accumulée |
| | logettes | aire d'exercice bétonnée | fumier | % Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Logettes x % Litière |
| | | | lisier | % Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Logettes x % Matelas |
| | | aire d'exercice caillebotis | | % Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Logettes x % Caillebotis |
| Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte | pente paillée | | Alim distribuée | % Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Pente paillée |
| | | | Alim silo libre-service | |
| | litière accumulée | système fumier | Alim distribuée | % Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Litière accumulée x %Litière |
| | | | Alim silo libre-service | |
| | | système lisier | Alim distribuée | % Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Litière accumulée x (% Caillebotis + % Matelas) |
| | | | Alim silo libre-service | |
| | logettes | système fumier | Alim distribuée | % Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Logettes x % Litière |
| | | | Alim silo libre-service | |
| | | système lisier | Alim distribuée | % Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Logettes x (% Caillebotis + % Matelas) |
| | | | Alim silo libre-service | |

A noter : pour les systèmes distinguant le type d'alimentation (distribuée ou silo libre-service), la distinction n'étant pas disponible dans les enquêtes pratiques d'élevage 2015, la valeur agrégée des pratiques d'élevage 2015 est répartie entre ces deux modes au prorata de la dernière répartition connue, provenant des enquêtes bâtiment (2008).

Pour les porcins, les résultats des pratiques d'élevage 2015 proposent une répartition des animaux selon les types de sol suivants :

- Caillebotis intégral,
- Caillebotis partiel,
- Litière accumulée avec paille.

Pour faire correspondre ces types de sol à ceux des enquêtes bâtiment, les modalités caillebotis intégral et partiel ont été fusionnées. Les correspondances suivantes ont été effectuées :

**Tableau 374 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 - Porcins**

| Catégories animales | Types de sols des enquêtes bâtiment | | Retraitements spécifiques des données sur les pratiques d'élevage 2015 |
|---|---|---|---|
| Truies en attente de saillie, gestantes ou en maternité | Plein air | | Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 |
| | Semi plein-air | | Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert) | Sol caillebotis total ou caillebotis partiel | % Caillebotis intégral + % Caillebotis partiel |
| | | Sol béton ou légèrement paillé et raclé | % Litière accumulée avec paille |
| | | Sol paillé (litière accumulée) | |
| Post-sevrage | Plein air | | Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 |
| | Semi plein-air | | Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 |
| | En maternité | Les porcelets restent dans le local maternité après sevrage | Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert) | Sol caillebotis partiel ou total | % Caillebotis intégral + % Caillebotis partiel |
| | | Sol béton ou légèrement paillé et raclé | % Litière accumulée avec paille |
| | | Sol paillé (litière accumulée) | |
| Engraissement | Plein air | | Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 |
| | Semi plein-air | | Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert) | Sol caillebotis partiel ou caillebotis total | % Caillebotis intégral + % Caillebotis partiel |
| | | Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé | % Litière accumulée avec paille |
| | | Sol paillé (litière accumulée) | |
| Autres porcs | Plein air | | Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 |
| | Semi plein-air | | Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert) | Sol caillebotis total ou partiel | Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 |
| | | Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé | Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 |
| | | Sol paillé (litière accumulée) | Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 |

A noter : pour les systèmes distinguant les sols paillés des sols légèrement paillés ou non, la distinction n'étant pas disponible dans les enquêtes pratiques d'élevage 2015, la valeur agrégée des pratiques d'élevage 2015 est répartie entre ces deux modes au prorata de la dernière répartition connue, provenant des enquêtes bâtiment (2008).

Pour les ovins, les résultats des pratiques d'élevage 2015 proposent une répartition des animaux selon les types de sol suivants :

- Plein air intégral,
- Litière intégrale,
- Caillebotis.

A la différence des enquêtes bâtiment, les enquêtes pratiques d'élevage proposent donc désormais pour les ovins des systèmes en lisier (caillebotis) et des systèmes de plein air intégral.

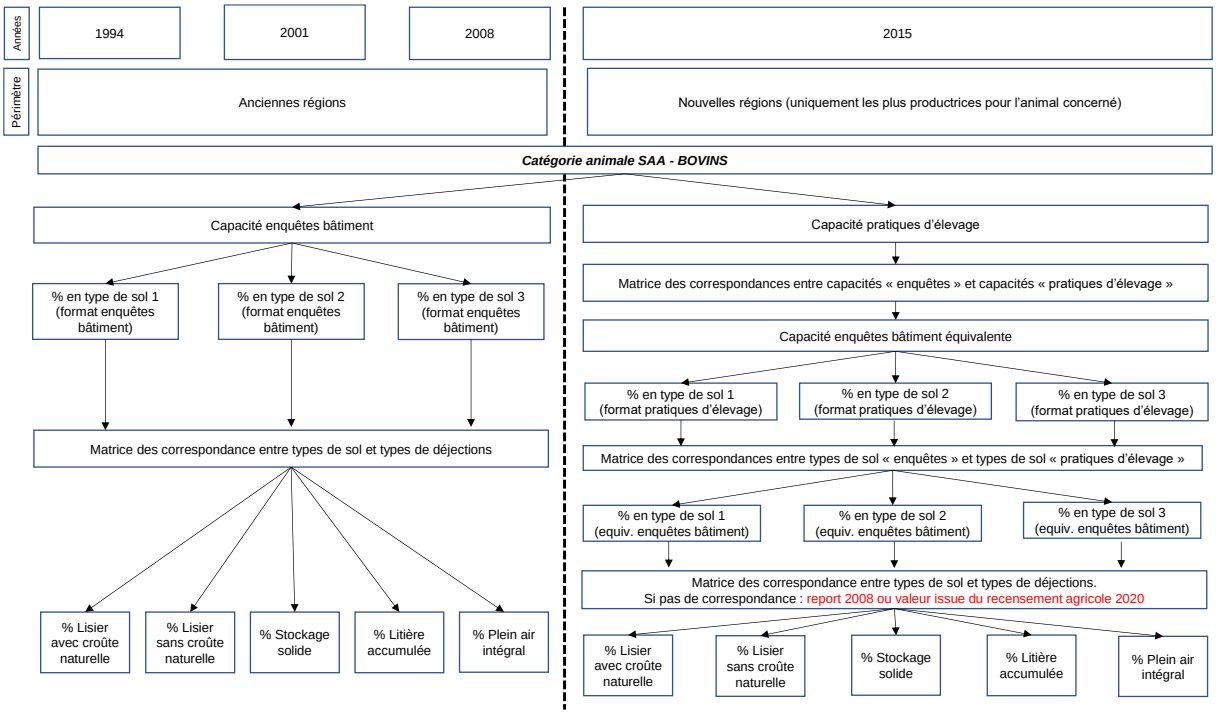
Pour les caprins, les résultats des pratiques d'élevage 2015 proposent une répartition des animaux selon les types de sol suivants :

- Litière intégrale,
- Caillebotis.

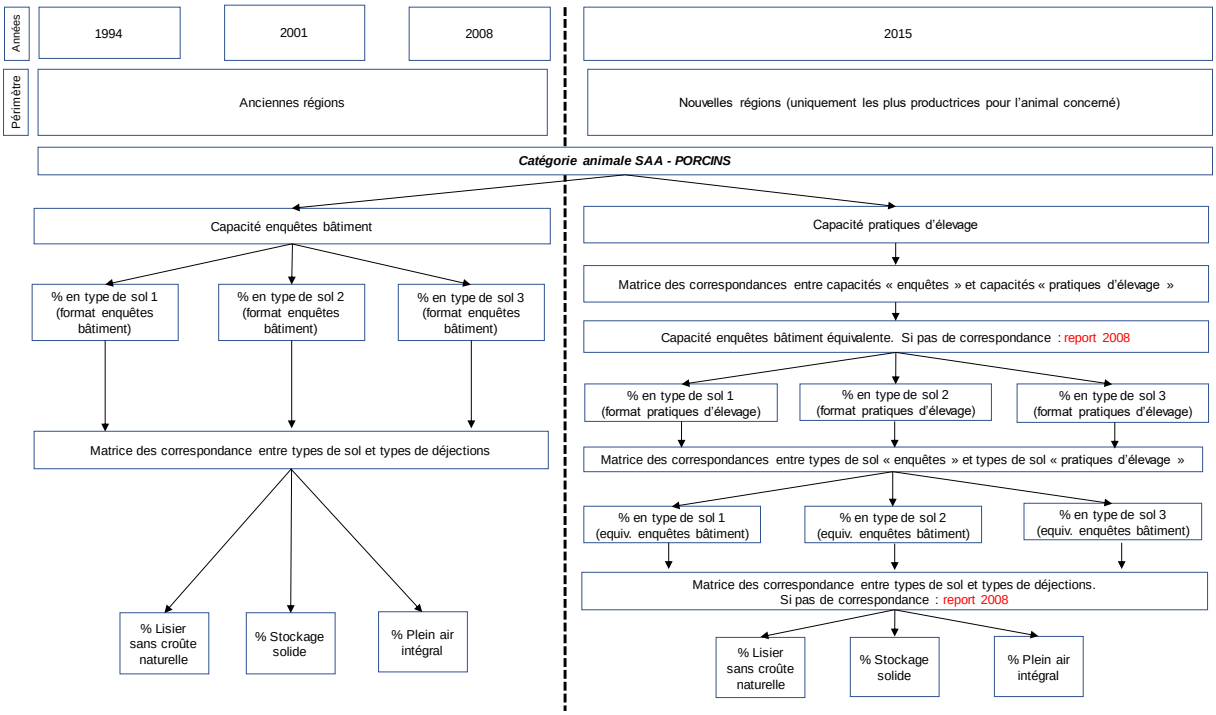
A la différence des enquêtes bâtiment, les enquêtes pratiques d'élevage proposent donc désormais pour les caprins des systèmes en lisier (caillebotis).

Les schémas ci-dessous présentent les sources utilisées (résultats des enquêtes) et principaux retraitements par grande catégorie animale : bovins, porcins, ovins, caprins.

**Figure 241 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les bovins**



## Figure 242 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les porcins




## Figure 243 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les ovins

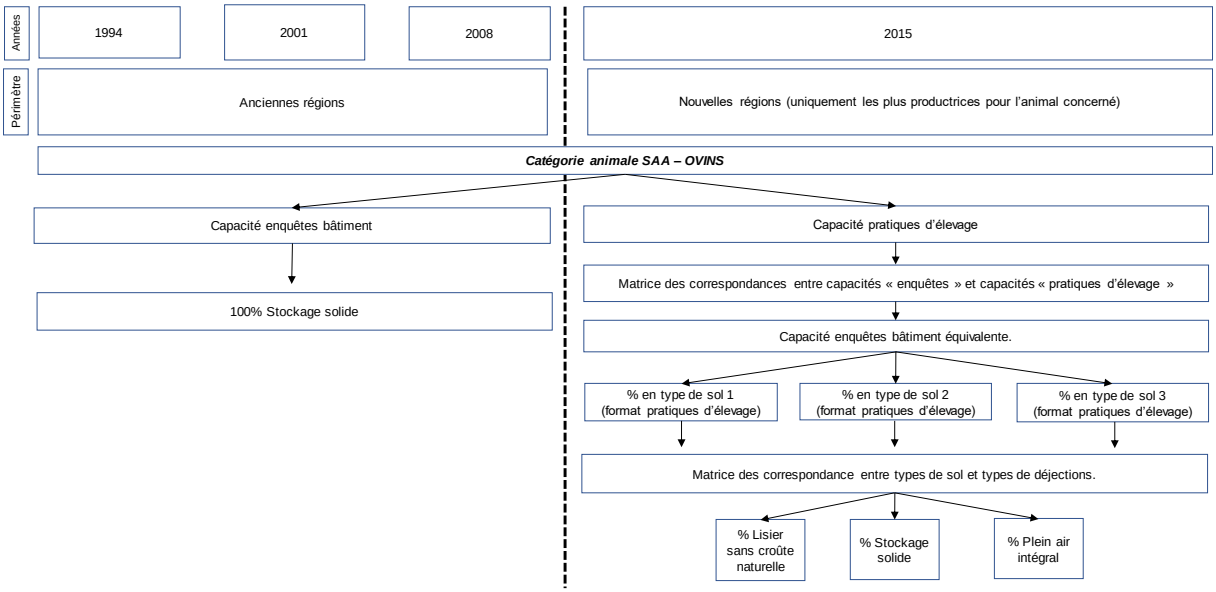
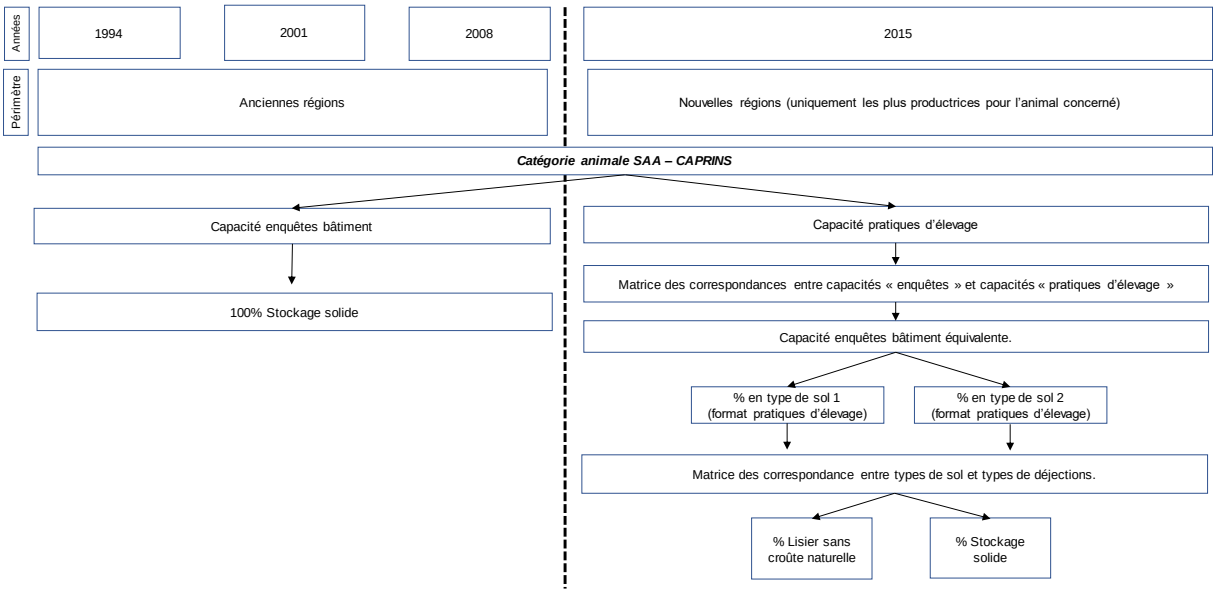


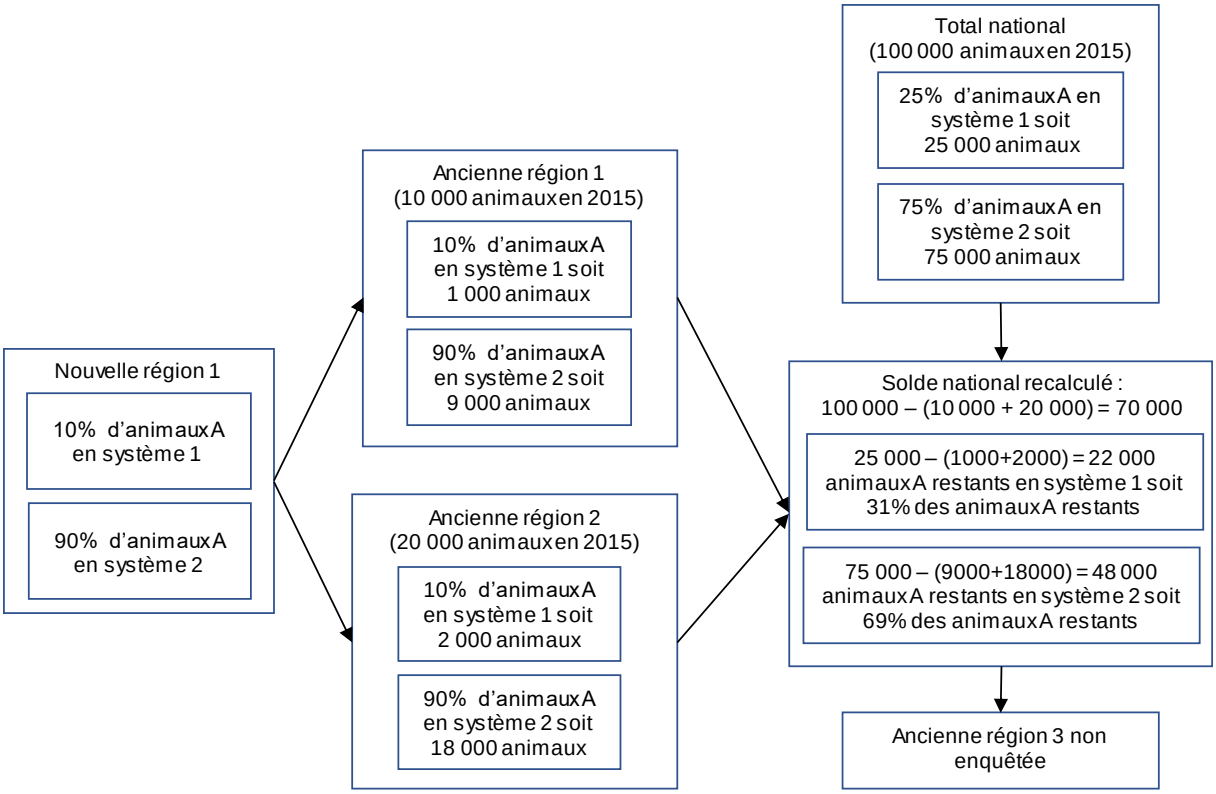
**Figure 244 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les caprins**




A ces différents retraitements vient s'ajouter la complexité de la couverture géographique. En effet, comme mentionné plus haut, les résultats des enquêtes pratiques d'élevage sont restitués au niveau national et pour les principales nouvelles régions productrices. Pour compléter la couverture géographique de ces résultats, les retraitements suivants ont été apportés :

- Etape 1 : traitement des données pour les nouvelles régions enquêtées. La répartition des animaux par système de gestion des déjections est connue. Ces pourcentages de répartition pour les nouvelles régions, pouvant regrouper plusieurs anciennes régions, sont appliqués à l'ensemble des anciennes régions pertinentes.
- Etape 2 : recalcul du solde national. Les animaux répartis par système de gestion pour les régions connues sont soustraits des effectifs nationaux répartis par système de gestion.
- Etape 3 : recalcul des pourcentages de répartition pour les régions manquantes. Les pourcentages de répartition par système de déjection sont calculés à partir des effectifs recalculés à l'étape 2. Ces pourcentages sont appliqués pour les régions non enquêtées.

**Figure 245 : Illustration fictive du retraitement des données effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage**




Une fois ces différents retraitements effectués, on obtient bien pour les bovins, porcins, ovins et caprins, 4 données de répartition des animaux par système de gestion des déjections par ancienne région : 1994, 2001, 2008, 2015.

Ces données sont utilisées de la façon suivante sur la période :

**Tableau 375 : Traitement des données sur les systèmes de gestion des déjections sur la période**

| | | 1990 - 1994 | 1995 - 2000 | 2001 | 2002 - 2007 | 2008 | 2009-2014 | 2015 - année en cours | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bovins | % Plein air intégral | Données 1994 | Interpolation linéaire 1994-2001 | Données 2001 | Interpolation linéaire 2001-2008 | Données 2008 | Interpolation linéaire 2008-2015 | Donnée issue du recensement 2020 | |
| | % Systèmes autres que le plein-air intégral | Données 1994 | Interpolation linéaire 1994-2001 | Données 2001 | Interpolation linéaire 2001-2008 | Données 2008 | Interpolation linéaire 2008-2015 | Données 2015 | |
| Porcins | % Plein air intégral | Données 1994 | Interpolation linéaire 1994-2001 | Données 2001 | Interpolation linéaire 2001-2008 | Données 2008 | Données 2008 | Données 2008 | |
| | % Systèmes lisier | Données 1994 | Interpolation linéaire 1994-2001 | Données 2001 | Interpolation linéaire 2001 - 2008 | Données 2008 | Interpolation linéaire 2008-2015 | Données 2008 (selon les sous-systèmes) | Données 2015 (selon les sous-systèmes) |
| | % Systèmes fumier | Données 1994 | Interpolation linéaire 1994-2001 | Données 2001 | Interpolation linéaire 2001-2008 | Données 2008 | Interpolation linéaire 2008-2015 | Données 2008 (selon les sous-systèmes) | Données 2015 (selon les sous-systèmes) |
| Ovins | % Plein air intégral | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | Interpolation linéaire 2008-2015 | Données 2015 | |
| | % Systèmes lisier | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | Interpolation linéaire 2008-2015 | Données 2015 | |
| | % Systèmes fumier | Données 1994 | Interpolation linéaire 1994-2001 | Données 2001 | Interpolation linéaire 2001-2008 | Données 2008 | Interpolation linéaire 2008-2015 | Données 2015 | |
| Caprins | % Systèmes lisier | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | Interpolation linéaire 2008-2015 | Données 2015 | |
| | % Systèmes fumier | Données 1994 | Interpolation linéaire 1994-2001 | Données 2001 | Interpolation linéaire 2001-2008 | Données 2008 | Interpolation linéaire 2008-2015 | Données 2015 | |

### Temps de présence au bâtiment

Parmi les systèmes présentés plus haut figure le plein-air intégral. Pour ce système, le temps de présence au bâtiment est nul et l'ensemble des déjections produites est attribué au système « pâture/parcours ». Pour les autres systèmes, le temps de présence au bâtiment n'est pas forcément de 100%. Le pourcentage du temps passé en dehors des bâtiments pour ces systèmes doit être estimé et les déjections produites au cours de ce temps passé à l'extérieur viendront s'ajouter au système « pâture/parcours ».

- Pour les bovins et les ovins

Le temps passé en bâtiment a été estimé à l'aide des durées d'hébergement fournies dans les enquêtes bâtiment 2001 et 2008 [480]. L'enquête bâtiment 1994 ainsi que l'enquête pratiques d'élevage 2015 [980] ne contiennent pas cette information.

Ces durées de présence des animaux en bâtiment sont fournies en « jours temps plein » ce qui correspond au nombre de jours d'hébergement continu pendant la période hivernale. Le temps passé en bâtiment pour la traite pendant l'été et les périodes de transition sont donc exclues des durées d'hébergement fournies. Ainsi, pour les vaches laitières, 4h d'hébergement ont été rajoutées par jour non-hébergé afin de prendre en compte le temps passé en bâtiment pour la traite. Les périodes de transition (périodes de l'année où les bovins ne sortent que temporairement, surtout au printemps et à l'automne) ont été prises en compte grâce aux données fournies par l'observatoire de l'alimentation des vaches laitières [477].

Ces données sont utilisées de la manière suivante sur la période de 1990 à l'année en cours :

**Tableau 376 : Traitement des données sur les temps d'hébergement sur la période**

| | 1990 - 1994 | 1995 - 2000 | 2001 | 2002 - 2007 | 2008 – année en cours |
|---|---|---|---|---|---|
| Bovins | Données 2001 | Données 2001 | Données 2001 | Interpolation linéaire 2001-2008 | Données 2008 |
| Ovins | Données 2001 | Données 2001 | Données 2001 | Interpolation linéaire 2001-2008 | Données 2008 |

- Pour les porcins

Les enquêtes bâtiment ne fournissent pas de durées d'hébergement : les animaux gérés en bâtiment se voient attribuer 100% de leur temps au bâtiment. Seules les déjections des animaux en systèmes d'élevage plein air intégral (voir plus haut) seront attribuées au mode « pâture/parcours » intégralement.

- Pour les caprins

Les durées d'hébergement ont été fournies par l'Institut de l'Elevage [478], à partir des données des bases PMPOA 1 et 2. Ces données sont disponibles uniquement pour l'année 2007, mais le détail régional est connu. Faute d'autres données disponibles, les données 2007 sont considérées constantes dans le temps et utilisées pour toute la période.

### Quantités de paille apportées

Pour les bovins et les porcins, des tables de correspondances réalisées par l'Institut de l'Elevage, le SSP (service statistique du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire) et l'Institut du porc ont permis de connaître les quantités de paille utilisées par mode de stabulation/type de sol provenant des enquêtes bâtiment. Le tableau ci-dessous présente les quantités de paille à apporter par jour en kg, par capacité « enquête bâtiment » (voir plus haut), par type de logement, pour les bovins.

**Tableau 377 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Bovins**

| Type de logement | Capacité enquête bâtiment | Besoin en paille par animal par jour (en kg) |
|---|---|---|
| Stabulation (ou étable) entravée avec litière | Vaches laitières | 2,5 |
| | Vaches nourrices | 2,5 |
| | Bovins d'élevage | 2 |
| | Bovins d'engraissement | 2 |
| | Veaux | 1 |
| | Autres | 1 |
| Stabulation (ou étable) entravée sans litière | Vaches laitières | 0 |
| | Vaches nourrices | 0 |
| | Bovins d'élevage | 0 |
| | Bovins d'engraissement | 0 |
| | Veaux | 0 |
| | Autres | 0 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, pente paillée | Vaches laitières | 5 |
| | Vaches nourrices | 4,5 |
| | Bovins d'élevage | 4 |
| | Bovins d'engraissement | 4 |
| | Veaux | 1 |
| | Autres | 1 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, litière accumulée, aire d'exercice raclée, fumier | Vaches laitières | 7,5 |
| | Vaches nourrices | 5,5 |
| | Bovins d'élevage | 4 |
| | Bovins d'engraissement | 4 |
| | Veaux | 1 |
| | Autres | 1 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, litière accumulée, aire d'exercice raclée, lisier | Vaches laitières | 6 |
| | Vaches nourrices | 5 |
| | Bovins d'élevage | 3,5 |
| | Bovins d'engraissement | 3,5 |
| | Veaux | 1 |
| | Autres | 1 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, litière accumulée, aire d'exercice caillebotis (lisier) | Vaches laitières | 6 |
| | Vaches nourrices | 5 |
| | Bovins d'élevage | 3,5 |
| | Bovins d'engraissement | 3,5 |
| | Veaux | 1 |
| | Autres | 1 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, litière accumulée, aire paillée intégrale | Vaches laitières | 9 |
| | Vaches nourrices | 7 |
| | Bovins d'élevage | 5 |
| | Bovins d'engraissement | 5 |
| | Veaux | 2 |
| | Autres | 2 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, logettes, aire d'exercice bétonnée, fumier | Vaches laitières | 3 |
| | Vaches nourrices | 2,5 |
| | Bovins d'élevage | 2 |
| | Bovins d'engraissement | 2 |
| | Veaux | 1 |
| | Autres | 1 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, logettes, aire d'exercice bétonnée, lisier | Vaches laitières | 0,5 |
| | Vaches nourrices | 0,3 |
| | Bovins d'élevage | 0,2 |
| | Bovins d'engraissement | 0,2 |
| | Veaux | 0,5 |
| | Autres | 0,5 |

| | | |
|---|---|---|
| Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, logettes, aire d'exercice caillebotis | Vaches laitières | 0,5 |
| | Vaches nourrices | 0,3 |
| | Bovins d'élevage | 0,2 |
| | Bovins d'engraissement | 0,2 |
| | Veaux | 0,5 |
| | Autres | 0,5 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, pente paillée, alimentation distribuée | Vaches laitières | 5 |
| | Vaches nourrices | 4,5 |
| | Bovins d'élevage | 4 |
| | Bovins d'engraissement | 4 |
| | Veaux | 1 |
| | Autres | 1 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, pente paillée, alimentation silo en libre-service | Vaches laitières | 5 |
| | Vaches nourrices | 4,5 |
| | Bovins d'élevage | 4 |
| | Bovins d'engraissement | 4 |
| | Veaux | 1 |
| | Autres | 1 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, litière accumulée, système fumier, alimentation distribuée | Vaches laitières | 8,5 |
| | Vaches nourrices | 6,5 |
| | Bovins d'élevage | 5 |
| | Bovins d'engraissement | 5 |
| | Veaux | 1 |
| | Autres | 1 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, litière accumulée, système fumier, alimentation silo en libre-service | Vaches laitières | 7 |
| | Vaches nourrices | 6 |
| | Bovins d'élevage | 4,5 |
| | Bovins d'engraissement | 4,5 |
| | Veaux | 1 |
| | Autres | 1 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, litière accumulée, système lisier, alimentation distribuée | Vaches laitières | 6 |
| | Vaches nourrices | 5 |
| | Bovins d'élevage | 3,5 |
| | Bovins d'engraissement | 3,5 |
| | Veaux | 1 |
| | Autres | 1 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, litière accumulée, système lisier, alimentation silo en libre-service | Vaches laitières | 9 |
| | Vaches nourrices | 7 |
| | Bovins d'élevage | 5 |
| | Bovins d'engraissement | 5 |
| | Veaux | 2 |
| | Autres | 2 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, logettes, système fumier, alimentation distribuée | Vaches laitières | 4 |
| | Vaches nourrices | 3,5 |
| | Bovins d'élevage | 3 |
| | Bovins d'engraissement | 3 |
| | Veaux | 1,5 |
| | Autres | 1,5 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, logettes, système fumier, alimentation silo en libre-service | Vaches laitières | 4 |
| | Vaches nourrices | 3,5 |
| | Bovins d'élevage | 3 |
| | Bovins d'engraissement | 3 |
| | Veaux | 1,5 |
| | Autres | 1,5 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, logettes, système lisier, alimentation distribuée | Vaches laitières | 0,5 |
| | Vaches nourrices | 0,3 |
| | Bovins d'élevage | 0,2 |
| | Bovins d'engraissement | 0,2 |
| | Veaux | 0,5 |

| | | |
|---|---|---|
| | Autres | 0,5 |
| Bâtiment fermé (entièrement couvert), Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé | Vaches laitières | 0,5 |
| | Vaches nourrices | 0,3 |
| | Bovins d'élevage | 0,2 |
| | Bovins d'engraissement | 0,2 |
| | Veaux | 0,5 |
| | Autres | 0,5 |

Le tableau ci-dessous présente les quantités de paille à apporter par jour en kg, par capacité « enquête bâtiment » (voir plus haut), par type de logement, pour les porcins.

**Tableau 378 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Porcins**

| Capacité enquête bâtiment | Types de logement | Besoin en paille par animal par jour (en kg) |
|---|---|---|
| Truies en attente de saillie | Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton ou légèrement paillé et raclé | 0,5 |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton (litière accumulée) | 1,7 |
| Truies gestantes | Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton ou légèrement paillé et raclé | 0,5 |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton (litière accumulée) | 1,7 |
| Truies en maternité | Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton ou légèrement paillé et raclé | 2 |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton (litière accumulée) | 2 |
| Porcs en post sevrage | Sol béton ou légèrement paillé et raclé | 0,12 |
| | Sol paillé (litière accumulée) sur paille ou sciure accumulée | 0,3 |
| Porcs en engraissement ou pré-engraissement | Bâtiment fermé (entièrement couvert), Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé | 0,3 |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert), sur paille ou sciure accumulée | 1,9 |
| Autres porcs | Bâtiment fermé (entièrement couvert), Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé | 0,3 |
| | Bâtiment fermé (entièrement couvert), sur paille ou sciure accumulée | 1 |

Les quantités de paille pour les bovins et les porcins étant attribuées par mode de logement et capacité, elles sont utilisées sur la période de la même manière que celles relatives à la répartition par systèmes de gestion des déjections (voir Tableau 375).

Pour les caprins et les ovins, les quantités de pailles utilisées ont été fournies par l'Institut de l'Elevage et le SSP. Le tableau ci-dessous présente les quantités de paille à apporter par jour en kg, par catégorie animale, pour les ovins.

**Tableau 379 : Besoins en paille par catégorie animale - Ovins**

| Catégories d'animaux | Besoin en paille par animal par jour (en kg) |
|---|---|
| Brebis, agneaux non sevrés et béliers | 1,6 |
| Agnelles | 0,75 |
| Agneaux | 0,15 |

Dans la SAA, les béliers sont comptabilisés avec les agneaux. Un retraitement a été effectué pour pondérer les apports de paille de cette catégorie mixte, au prorata des effectifs différenciés (béliers/agneaux) fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour l'année 2020. Le choix a été fait de moyenner les proratas pour ces deux années afin d'obtenir une pondération constante sur la période. Les quantités de paille résultantes, exprimées par capacité des enquêtes bâtiment, sont les suivantes :

**Tableau 380 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Ovins**

| Capacités enquêtes bâtiment | Besoin en paille par animal par jour (en kg) |
|---|---|
| Brebis laitières | 1,60 |
| Autres animaux d'élevage laitiers | 0,75 |
| Brebis viandes | 1,60 |
| Autres animaux d'élevage viandes | 0,75 |
| Agneaux en engraissement | 0,28 |

Le tableau ci-dessous présente les quantités de paille à apporter par jour en kg, par catégorie animale, pour les caprins.

**Tableau 381 : Besoins en paille par catégorie animale - Caprins**

| Catégories d'animaux | Besoin en paille par animal par jour (en kg) |
|---|---|
| Chèvres et boucs | 1,5 |
| Nurserie | 0,25 |
| Chevrettes | 0,75 |
| Chevreaux | 0,25 |

Pour assurer la cohérence avec les capacités des enquêtes bâtiment et la statistique agricole, les retraitements suivants ont été effectués :

- Pour les chèvres : la correspondance est directe,
- Pour les chevrettes : on considère que les chevrettes passent 6% de leur vie en nurserie, d'après les données tirées d'une publication de l'IDELE [982]. La pondération est alors faite entre les apports en nurserie et les apports pour les chevrettes.
- Pour les autres caprins (y compris boucs) : la pondération est faite entre les boucs et les chevreaux au prorata des effectifs différenciés (boucs/chevreaux) fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour l'année 2020. Le choix a été fait de moyenner les proratas pour ces deux années afin d'obtenir une pondération constante sur la période.

Les quantités de paille résultantes, exprimées par capacité des enquêtes bâtiment, sont les suivantes :

**Tableau 382 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Caprins**

| Capacités enquêtes bâtiment | Besoin en paille par animal par jour (en kg) |
|---|---|
| Chèvres | 1,50 |
| Autres animaux d'élevage | 0,72 |
| Chevreaux en engraissement | 0,66 |

Les quantités de paille pour les ovins et les caprins étant attribuées par capacité, elles sont utilisées sur la période de la même manière que celles relatives à la répartition par systèmes de gestion des déjections (voir Tableau 375).

## Systèmes de gestion des déjections animales – Traitement des données pour les équins

### Temps de présence au bâtiment

Il a été considéré que les équins passent en moyenne 5 mois en bâtiment, sur la base d'un rapport sur les effluents animaux paru en 2002 [476]. Faute d'autres données disponibles, cette donnée est considérée constante dans le temps et utilisée pour toute la période.

### Mode de gestion des déjections

Les systèmes lisiers n'existent pas en France, donc 100% des systèmes sont considérés en fumier.

### Quantités de paille apportées

Pour les équins, les quantités de paille journalières retenues proviennent d'EMEP/EEA 2023 [1338].

## Systèmes de gestion des déjections animales – Traitement des données pour les volailles

### Temps de présence au bâtiment

Les temps d'hébergement sont déduits des facteurs d'excrétion azotée des documents Corpen (Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement), qui distinguent la part azotée au parcours de celle excrétée en bâtiment. Il existe trois versions du Corpen pour les volailles : 1996 [503], 2006 [471] et la mise à jour de 2012 [504]. Ces guides fournissent les parts d'excrétions au parcours pour respectivement 40, 78 et 80 catégories de volailles, alors que la SAA ne compte que 10 catégories. Ainsi, pour calculer les parts d'excrétions au parcours à partir du Corpen, il faut connaître les effectifs pour chaque catégorie Corpen, puis calculer un facteur d'émission pondéré pour les 10 catégories de la SAA. Pour cela, les effectifs nationaux fournis pour 46 catégories de volailles par les enquêtes bâtiments 2008 [480] ont été utilisés, en faisant l'hypothèse, faute de données supplémentaires, que les répartitions entre les

46 populations de volailles sont constantes entre 1996 et 2012. Les catégories de volailles et les périmètres d'étude ayant variés entre les versions, certaines données aberrantes ont été corrigées par une interpolation entre les deux valeurs de 1996 et 2012. En 2022, l'ITAVI a mis à jour les facteurs d'excrétion azotée de 82 catégories de volailles sur la base de la nomenclature Corpen [1250]. En croisant ces nouvelles données avec les effectifs par catégorie détaillée du recensement agricole [1249], nous estimons une mise à jour de l'excrétion azotée des volailles de l'inventaire ainsi que la part au parcours à partir de 2020.

Les temps d'hébergement utilisés sur la période de 1990 à l'année en cours sont les suivants :

- de 1990 à 1996 : les données utilisées sont celles de 1996 ;
- de 1997 à 2005 : interpolation linéaire entre les données de 1996 et celles de 2006 ;
- en 2006 : les données utilisées sont celles de 2006 ;
- de 2007 à 2011 : interpolation linéaire entre les données de 2006 et celles de 2012 ;
- de 2012 : les données utilisées sont celles de 2012 ;
- 2013 à 2020 : interpolation linéaire entre les données de 2012 et celles de 2020 ;
- 2020 à dernière année d'inventaire : les données utilisées sont celles de 2020 ;

#### Mode de gestion des déjections

Des parts de fumier et de lisier ont été affectées à chaque catégorie animale. Ces correspondances sont très simples puisque généralement, une catégorie animale correspond à un effluent. En effet, hormis pour les canards et les oies, toutes les volailles ont été allouées à des systèmes sur fumier.

Pour les canards et les oies, la répartition des effluents entre système fumier et lisier est effectuée à partir des documents du Corpen qui fournissent des excrétions azotées avec une part de lisier et une part de fumier déterminées, pour les années 1996, 2006 et 2012. Ces données sont interpolées de la même manière que les temps d'hébergement (cf. ci-dessus).

Actuellement, les systèmes « fientes » (très fréquents en poules pondeuses) sont assimilés aux systèmes basés sur le fumier, car pour l'instant, aucun facteur d'émission spécifique aux systèmes fiente n'est disponible dans les lignes directrices.

#### Quantités de paille apportées

Pour les volailles, les quantités de paille apportées ne sont pas comptabilisées.

### Systèmes de gestion des déjections animales – Traitement des données pour les lapines

#### Temps de présence au bâtiment

Pour les lapines reproductrices, une seule enquête a été réalisée en 1994 [760] mais elle ne fournit pas de durées d'hébergement : les animaux gérés en bâtiment se voient attribuer 100% de leur temps au bâtiment.

#### Mode de gestion des déjections

Pour les lapines reproductrices, une seule enquête a été réalisée en 1994 [760]. La répartition entre fumier et lisier est maintenue constante, égale à 1994, pour toute la période.

#### Quantités de paille apportées

Ces quantités ne sont pas comptabilisées faute de données disponibles.

### Systèmes de gestion des déjections animales – Traitement des données pour les cervidés d'élevage

En Nouvelle-Calédonie, l'élevage des cervidés est considéré comme extensif. Faute de données plus précises, l'hypothèse est faite d'une gestion à 100% à la pâture.

# Fermentation entérique des vaches laitières et estimation du SV

*Avec :* *EF : facteur d'émission de $CH_4$ entérique (kg $CH_4$/tête/an) ;*

*MODI : matière organique digestible ingérée (kg/tête/an) ;*

*FCMe : facteur de conversion en méthane entérique (g $CH_4$/kg MODI)*

## Echelle d'application du modèle – géographique et temporel

## Caractéristiques des animaux

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

## Répartition entre bâtiment et pâture

## Estimation des besoins

*Avec :* *PV : poids vif (kg/tête) ;*

*$I_{act}$ : index d'activité.*

*Avec :* *Age exprimé en mois.*

*Avec :* *PL : production de lait (kg/jour) ;*

*TB : taux butyreux (g/kg) ;*

*TP : taux protéique (g/kg)*

*Avec :* *$PV_{veau}$ : poids du veau attendu à la naissance (kg) ;*

*SG : semaine de gestation*

**Figure 246 : Exemple – Evolution des besoins journaliers en UFL par semaine d'une primipare mise bas septembre sur l'année, avec un rendement laitier d'environ 6000 kg lait/an.**

## Prise en compte des rations

**Figure 247 : Composition de la ration moyenne vache laitière France sur l'année**

**Tableau 383 : Attribution des rations Cniel par anciennes régions**

| Région (format anciennes régions) | Attribution ration |
|---|---|
| Île-de-France | Grand-Est |
| Champagne-Ardenne | Grand-Est |
| Picardie | Nord-Picardie |
| Haute-Normandie | Normandie |

| | |
|---|---|
| Centre | Centre |
| Basse-Normandie | Normandie |
| Bourgogne | Grand-Est |
| Nord-Pas-de-Calais | Nord-Picardie |
| Lorraine | Grand-Est |
| Alsace | Grand-Est |
| Franche-Comté | Grand-Est |
| Pays de la Loire | Grand-Ouest |
| Bretagne | Grand-Ouest |
| Poitou-Charentes | Charentes Poitou |
| Aquitaine | Sud-Ouest |
| Midi-Pyrénées | Sud-Ouest |
| Limousin | Auvergne-Limousin |
| Rhône-Alpes | Sud-Est |
| Auvergne | Auvergne-Limousin |
| Languedoc-Roussillon | Sud-Ouest |
| Provence-Alpes-Côte d'Azur | Sud-Est |
| Corse | Moyenne France |

### Caractérisation des aliments

**Tableau 384 : Teneurs moyennes retenues des aliments composant les rations**

| Aliments de la ration | UFL (UFL/kg MS) | dMO (%) | MO (g/kg MS) | dE (%) | MAT (g/kg MS) |
|---|---|---|---|---|---|
| Herbe fraîche – qualité ++ (avril, mai, juin) | 1.01 | 78.00 | 884.57 | 74.57 | 171.71 |
| Herbe fraîche (autres mois) | 0.94 | 72.75 | 903.75 | 69.55 | 159.25 |
| Fourrages divers | 0.67 | 57.62 | 911.40 | 54.18 | 93.40 |
| Foins | 0.74 | 62.00 | 907.56 | 58.52 | 117.52 |
| Ensilage de maïs | 0.94 | 71.76 | 952.80 | 68.98 | 78.40 |
| Ensilages d'herbe et enrubannages | 0.84 | 67.69 | 894.95 | 63.75 | 134.95 |
| Concentrés énergétiques/production | 1.19 | 85.50 | 980.50 | 83.00 | 109.50 |
| Concentrés azotés | 1.12 | 81.17 | 928.50 | 81.00 | 454.33 |

### Calcul de la MSI et de la MODI avec prise en compte des interactions digestives

*Avec :* *MSI : matière sèche ingérée (kg MS/jour) ;*
*Besoins : besoins totaux précédemment estimés (UFL/jour) ;*
*$Energie_{intéraction}$ : énergie des interactions digestives (UFL/jour) ;*
*$UFL_{ration}$ : teneur en énergie de la ration (UFL/kg MS) ;*
*NI : niveau d'ingestion (MSI/100kgPV) ;*
*PC : part de concentrés (%) ;*
*PV : poids vif (kg)*

*Avec :* *MSI : matière sèche ingérée (kg MS/jour) ;*
*$MO_{ration}$ : teneur en matière organique de la ration (g/kg MS) ;*
*$dMO_{ration}$ : coefficient apparent de digestibilité de la matière organique (%) ;*
*NI : niveau d'ingestion (MSI/100kgPV) ;*
*PC : part de concentrés (%)*

### Facteur de conversion en méthane entérique

*Avec :* *FCMe : facteur de conversion en méthane entérique (g $CH_4$/kg MODI) ;*

*NI : niveau d'ingestion (kg matière sèche ingérée / jour / % poids vif) ;*

*PC : part de concentrés dans la ration (%).*

### Calcul du facteur d'émission de CH4 entérique

### Estimation de l'excrétion carbonée (SV)

Avec : MOI : matière organique ingérée (kg/jour) ;
MODI : matière organique digestible ingérée corrigée des interactions digestives (kg/jour) ;
MSI : matière sèche ingérée corrigée des interactions digestives (kg/jour) ;

MOration : teneur en matière organique de la ration (g/kg MS).

*Avec :* *EB : énergie brute ingérée (MJ/jour) ;*
*$MO_{ration}$ : teneur en matière organique de la ration (g/kg MS) ;*
*$EB_{ration}$ : teneur en énergie brute de la ration (kcal/kg MS)*

# Fermentation entérique des autres bovins et estimation du SV

Pour les bovins, les facteurs d'émissions sont tirés du projet Mondferent I conduit par l'Inrae [508][509]. Plusieurs catégories d'autres bovins ont été étudiées, considérées comme représentatives des situations d'élevages en France. A chaque catégorie est associée une race, une masse moyenne, un rendement laitier le cas échéant, ainsi que des besoins énergétiques.

Le tableau ci-dessous répertorie les poids vifs moyens par catégorie bovine fine.

**Tableau 385 : Poids vif moyen par catégorie bovine fine**

| | | Poids vif moyen (kg/tête) |
|---|---|---|
| Autres bovins | Vaches nourrices | 655 |
| | Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans | 583 |
| | Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans | 576 |
| | Génisses de boucherie de plus de 2 ans | 606 |
| | Mâles de type laitier de plus de 2 ans | 652 |
| | Mâles de type viande de plus de 2 ans | 652 |
| | Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans | 422 |
| | Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans | 432 |
| | Génisses de boucherie de 1 à 2 ans | 445 |
| | Mâles de type laitier de 1 à 2 ans | 486 |
| | Mâles de type viande de 1 à 2 ans | 517 |
| | Veaux de boucherie | 168 |
| | Autres femelles de moins de 1 an | 205 |
| | Autres mâles de moins de 1 an | 205 |

La méthodologie proposée permet d'estimer les émissions de $CH_4$ entérique par l'équation de Sauvant et al. 2011 [510] à partir de la Matière Organique Digestible Ingérée (MODI) :

$CH_4$ (g/kg PV/jour) = 0,083 + 0,025 x MODI (g/kg PV/jour)

*Avec :* *PV = Poids vif moyen sur la période concernée (kg)*

La MODI est calculée à partir de l'Energie Métabolisable Ingérée, selon l'équation suivante :

MODI (g) = EMI (kcal) / (EMI/MODI) (kcal/g)

*Avec :* *EMI/MODI = Ratio énergie métabolisable sur matière organique digestible (kcal/g).*

Le ratio EMI/MODI est légèrement variable selon les types de productions et le mode d'alimentation. Il a pu être déterminé en utilisant des données de rationnement moyen à l'échelle nationale [657] (qualité de fourrage, niveaux d'ingestion, concentrés et lipides), par grand type de production.

**Zoom sur l'alimentation des bovins – Extrait du document CIV [657]**

« Pour actualiser les connaissances sur le sujet, l'Institut de l'Elevage a réalisé une étude pour le CIV (Centre d'Information des Viandes). Les consommations de fourrages et d'aliments concentrés de plus 660 exploitations spécialisées en bovin lait et bovin viande ont été analysées.

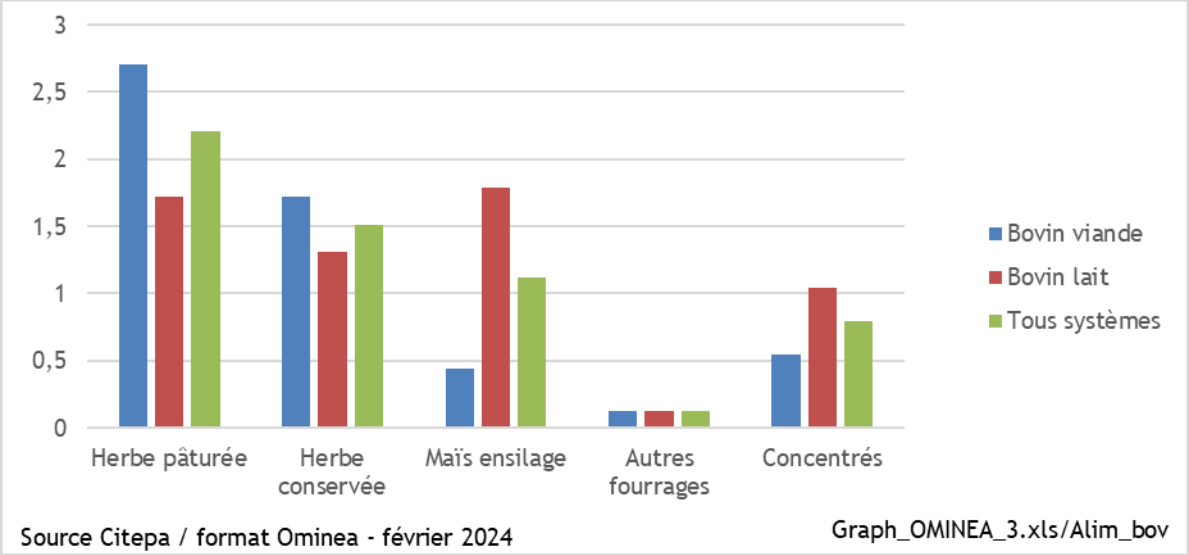
Ces fermes sont représentatives de la diversité des systèmes d'élevages français en lien notamment avec les différents types de production et la variété des territoires valorisés. Elles sont suivies annuellement dans le cadre du dispositif Réseaux d'Elevage conduit en partenariat avec les Chambres d'Agriculture et les EDE (Etablissement Départemental de l'Elevage). Les données qui en sont issues fournissent des éléments relativement précis sur les pratiques d'élevage et l'alimentation des troupeaux.

Les quantités de fourrages et d'aliments concentrés, ramenées à l'UGB (Unité Gros Bovin) ont été calculées pour chaque exploitation. Les moyennes ont été faites par grands types de systèmes de production. Les résultats ont ensuite été extrapolés au niveau français en calculant une ration moyenne nationale à partir des rations moyennes des différents systèmes, pondérés selon leur représentativité au niveau national.»

Ainsi, les rations présentées dans ce document sont bien jugées représentatives des élevages français.

Les rations moyennes obtenues par grand système sont les suivantes :

**Figure 248 : tMS/UGB/an par grand système (CIV, 2012)**




Ces rations sont ensuite combinées avec les caractéristiques moyennes de ces différents aliments tirées des tables rouges de l'Inrae [658].

A noter : les valeurs présentées ci-dessous sont bien des moyennes d'un ensemble d'éléments (par exemple, pour l'herbe pâturée, 23 fourrages verts sont moyennés).

**Tableau 386 : Caractéristiques retenues par grande catégorie d'aliment**

| | UEM (UE/kg) | UEL (UE/kg) | UEB (UE/kg) | UFL (UFL/kg) | UFV (UFV/kg) | MO | dMO | EB (kj) | EM(kj) | MOD (g/kg) | EM/MOD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fourrages (pâturage) | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 897,0 | 72,2 | 18 116 | 10 332 | 647,0 | 3,81 |
| Ensilage d'herbes | 1,5 | 1,1 | 1,2 | 0,7 | 0,6 | 907,6 | 62,0 | 18 230 | 8 639 | 562,9 | 3,66 |
| Foins | 1,5 | 1,1 | 1,2 | 0,8 | 0,7 | 895,0 | 67,8 | 18 608 | 9 614 | 606,7 | 3,78 |
| Paille | 2,4 | 1,6 | 1,8 | 0,5 | 0,3 | 916,7 | 44,7 | 17 963 | 5 905 | 409,3 | 3,45 |
| Ensilage de maïs | 1,3 | 1,0 | 1,1 | 0,9 | 0,8 | 952,5 | 71,7 | 18 615 | 10 683 | 682,9 | 3,74 |
| Céréales | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 1,2 | 980,0 | 87,0 | 18 321 | 12 977 | 852,7 | 3,64 |
| Sous-produits | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 930,2 | 78,7 | 18 715 | 11 697 | 731,4 | 3,82 |
| Tourteaux | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,1 | 1,0 | 926,9 | 82,3 | 19 461 | 12 074 | 763,2 | 3,78 |

A noter : la MODI est ensuite corrigée pour tenir compte des interactions digestives liées au pourcentage de concentrés de la ration.

MODIcorrigée (g) = MODI (g) + 1,2 – 0,0226 x PCO

*Avec :* *PCO = Proportion de Concentré dans la ration.*

L'EMI est quant à elle estimée à partir de l'Energie Nette Ingérée, divisée par le facteur de conversion « k », associé à la perte d'énergie sous forme de chaleur. Il est considéré constant par type de production.

EMI (kcal) = ENI (kcal) / k

*Avec :* *k = Rendement moyen d'utilisation de l'EMI de la ration*

Enfin, l'ENI est estimée à partir des besoins énergétiques des animaux (dépendant entre autres du type de production : lait ou viande), calculés en UF (Unité Fourragère) et convertis en ENI selon les équations suivantes [658] :

| |
|---|
| $EN_{lait}$ (kcal) = UFL (kcal) x 1 700<br><br>$EN_{viande}$ (kcal) = UFV (kcal) x 1 820 |

*Avec : UFL = Unité Fourragère Lait, UVF = Unité Fourragère Viande*

Les catégories de bovins étudiées permettent d'obtenir une vision jugée représentative de l'élevage français.

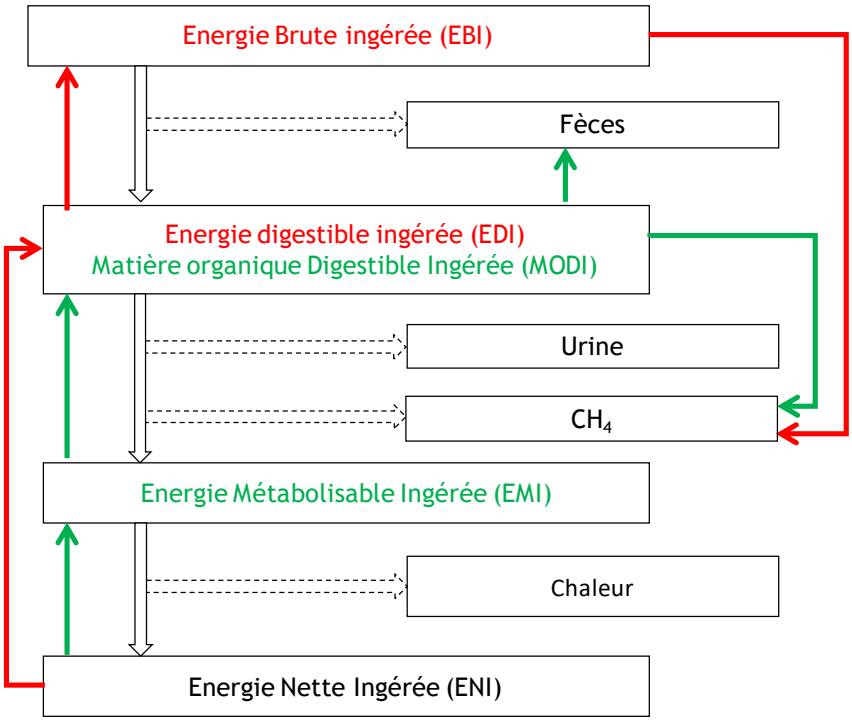
Les données de rationnement moyen à l'échelle nationale [657] combinées avec les caractéristiques moyennes des aliments tirées des tables rouges de l'Inrae [658], permettent également de calculer les quantités de Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI), grâce à un ratio MONDI/MODI calculé par type de production (lait/viande) et par mode d'alimentation (auge/pâturage). Ce ratio MONDI/MODI est appliqué à la MODI pour obtenir la MONDI. La MONDI ainsi calculée correspond aux fèces (MONDIfèces), et ne tient pas compte de la MONDI des urines (MONDIurines).

Pour le calcul des émissions de méthane issues de la gestion des déjections (3B), le Giec préconise l'utilisation du paramètre Solides Volatiles (SV), évalué à partir de l'énergie brute, de la digestibilité de la ration, de la teneur en cendre des fumiers (part non volatile) et de l'énergie perdue dans les urines. La méthode MONDFERENT I diffère également ici de celle du Giec car elle est fondée sur l'utilisation des MONDI et non des énergies. Dans la méthodologie MONDFERENT I, l'hypothèse est faite que la matière organique contenue dans les urines n'émettra que très peu de CH4 : le SVurine est alors négligé dans les calculs. Des recherches complémentaires sont à effectuer pour estimer les potentiels méthanogènes de la matière organique contenue dans les urines. On obtient donc :

| |
|---|
| SV = SVfèces + SVurine, avec SVfèces = MONDIfèces et SVurine = 0 |

Le schéma suivant illustre les principes de cette méthode (en vert), ainsi que celle proposée par le Giec (en rouge).

**Figure 249 : Schéma comparatif de la méthode de la méthode MONDFERENT I (vert) avec la méthode Giec 2019 (rouge)**




Les facteurs d'émission de méthane entérique calculés sont constants dans le temps pour les 14 catégories animales d'autres bovins. Ces facteurs par sous-catégorie sont listés plus bas (section « Récapitulatif - Facteurs d'émission de CH4 entérique et paramètres associés ») et une comparaison a été effectuée avec les valeurs recalculées par la méthode Giec 2019 [1229] (voir plus bas). Cependant, du fait de la variation annuelle des effectifs de ces catégories animales, le facteur d'émission de méthane entérique pour la catégorie agrégée « autres bovins » peut varier annuellement.

Les émissions totales sont calculées en multipliant les facteurs d'émission par les données de cheptels, tirées de la SAA [410].

# Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction

# Lavage d'air dans les bâtiments porcins

En 2015, une enquête « pratiques d'élevage » a été menée par le service des statistiques du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire [980], s'inscrivant dans la continuité des enquêtes bâtiment menées en 1994, 2001 et 2008. Elle concerne les bovins, les porcins, les caprins, les ovins et les volailles et est disponible à l'échelle des nouvelles régions. Une description plus détaillée de cette enquête est disponible en section « Agriculture | Introduction ».

Parmi les paramètres présentés dans les résultats de cette enquête, sont rapportés :

- les pourcentages de « lavage de l'air, brumisation, cooling, biofiltre ou autre » pour les capacités porcines suivantes : truies en gestation, truies en maternité, truies non saillies, porcelets en nurserie, porcelets en post-sevrage et porcs à l'engrais ;
- les pourcentages de « lavage de l'air, cooling, biofiltre ou autre» pour les capacités volailles suivantes : poulets standards, poulets lourds, dindes et poules pondeuses d'œuf pour la consommation, ces dernières étant distinguées selon le mode d'élevage (bio, plein air, sol, cage).

Ces informations ne sont en revanche pas disponibles pour les bovins, ovins et caprins. Pour une définition plus détaillée des capacités, se reporter à l'annexe « A.1 Systèmes de gestion des déjections animales ».

Après discussions avec la profession, il a été considéré que le lavage d'air n'était pas rencontré en bâtiment volailles. Aucune réduction en volailles n'est donc associée à cette pratique.

Dans la SAA, les catégories animales peuvent différer des capacités proposées dans l'enquête pratiques d'élevage. Les retraitements suivants ont été apportés :

Pour les truies : elles sont toutes regroupées en une catégorie dans la SAA, quel que soit leur stade. Les données tirées des enquêtes pratiques d'élevage doivent alors être pondérées. Cette pondération est précisée en section « Agriculture | Introduction ».

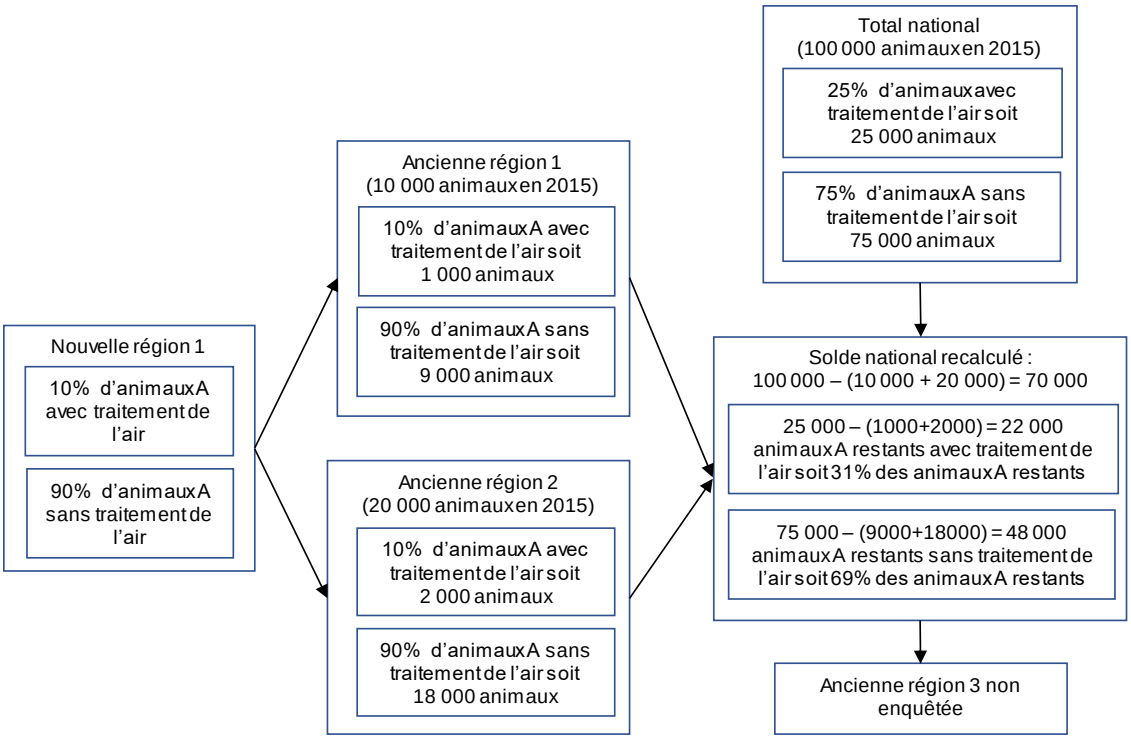
Pour les verrats : faute de données disponibles dans les enquêtes, les valeurs recalculées pour les truies leur sont attribuées.

On considère que les pourcentages présentés dans les résultats des enquêtes s'appliquent directement aux effectifs (cheptels) gérés au bâtiment.

Ces pourcentages sont disponibles au niveau national et pour les nouvelles régions les plus productrices, qui sont, en porcins : Bretagne, Pays de la Loire, Hauts-de-France. Pour compléter la couverture géographique des résultats et effectuer les calculs au niveau des anciennes régions, les retraitements suivants ont été apportés (pour plus de détails sur le périmètre géographique, se reporter à la section « Agriculture | Introduction ») :

- Etape 1 : traitement des données pour les nouvelles régions enquêtées. Les pourcentages de traitement de l'air sont connus. Ces pourcentages pour les nouvelles régions, pouvant regrouper plusieurs anciennes régions, sont appliqués à l'ensemble des anciennes régions pertinentes et permettent ainsi de définir la part des animaux gérés dans des bâtiments avec traitement de l'air.
- Etape 2 : recalcul du solde national. Les animaux gérés dans des bâtiments avec traitement de l'air pour les régions connues sont soustraits des effectifs nationaux gérés dans des bâtiments avec traitement de l'air.
- Etape 3 : recalcul des pourcentages de répartition pour les régions manquantes. Les pourcentages d'animaux gérés dans des bâtiments avec traitement de l'air sont calculés à partir des effectifs recalculés à l'étape 2. Ces pourcentages sont appliqués pour les régions non enquêtées.

**Figure 250 : Illustration fictive du retraitement des données de traitement de l'air en bâtiments porcins effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage**




Les résultats des données retravaillées pour les porcins sont les suivants :

**Tableau 387 : Pourcentages recalculés des effectifs porcins élevés en bâtiment avec traitement de l'air par grande région productrice et solde national**

| % des effectifs gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air | Bretagne | Pays de la Loire | Picardie (désormais Hauts-de-France) | Nord-Pas-de-Calais (désormais Hauts-de-France) | Solde national |
|---|---|---|---|---|---|
| Porcelets non sevrés (<8kg) | 1,2% | 3,7% | 1,8% | 1,8% | 1,2% |
| Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg) | 0,8% | 1,6% | 0,9% | 0,9% | 1,2% |
| Porcs à l'engrais (>30kg) | 0,5% | 1,7% | 1,3% | 1,3% | 1,2% |
| Verrats de 50 kg et plus | 1,2% | 3,7% | 1,8% | 1,8% | 1,1% |
| Truies de 50 kg et plus | 1,2% | 3,7% | 1,8% | 1,8% | 1,1% |

Faute de données disponibles avant 2015, des hypothèses ont été formulées pour estimer les taux d'application du traitement de l'air pour le passé :

**Tableau 388 : Attribution des taux d'application de traitement de l'air sur la période**

| | 1990 | 1991 - 2004 | 2005 - année en cours |
|---|---|---|---|
| % des effectifs gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air | 0% | Interpolation linéaire 1990 - 2005 | Données 2015 |

# Traitement des lisiers porcins par nitrification-dénitrification

Pour estimer les abattements liés à la nitrification-dénitrification, il faut pouvoir estimer les quantités d'azote ammoniacal traitées.

Les premières stations de nitrification-dénitrification ont été mises en service en France en 1998 [990]. Depuis, de nombreuses autres stations ont vu le jour. Des données relatives aux quantités traitées peuvent être trouvées au sein de différentes sources. Elles concernent uniquement les lisiers porcins.

Les publications de Levasseur [989] fournissent, pour les années 2003 et 2005, le nombre de stations en Bretagne, et le nombre total de stations en France. Elles fournissent également les quantités d'azote résorbées, mais uniquement pour la Bretagne (2003 et 2005).

La publication de Lessirard [990] fournit le nombre de stations et les quantités d'azote résorbées en Bretagne pour l'année 2007 ;

Les publications de l'UGPVB (Union des Groupements de Producteurs de Viande de Bretagne) [991][992] [1342] fournissent le nombre de stations en Bretagne pour les années 2013, 2016 et 2019. L'UGPVB a également fourni les quantités d'azote résorbées en Bretagne pour 2010, 2013, 2015, 2016 et 2019.

Ces différentes données nous permettent de formuler des hypothèses de manière à estimer le nombre de stations de nitrification-dénitrification sur la période :

**Tableau 389 : Résumé des modes d'estimation du nombre de stations de traitement par nitrification-dénitrification sur la période**

| | En Bretagne | Hors Bretagne | Total France |
|---|---|---|---|
| 1990-1997 | 0 | 0 | 0 |
| 1998-2002 | Interpolation linéaire 1997 - 2003 | Calcul du différentiel (France - Bretagne) | Interpolation linéaire 1997 - 2003 |
| 2003 | Données [989] | | Données [989] |
| 2004 | Moyenne 2003,2005 | | Moyenne 2003,2005 |
| 2005 | Données [989] | | Données [989] |
| 2006 | Moyenne 2005,2007 | Report de la valeur recalculée 2005 | Somme des stations Bretagne + Hors Bretagne |
| 2007 | Données [990] | | |
| 2008- 2012 | Interpolation linéaire 2007 - 2013 | | |
| 2013 | Données [991] | | |
| 2014 | Interpolation linéaire 2013 - 2015 | | |
| 2015 | Données [992] | | |
| 2016 | Données [1342] | | |
| 2017 -2018 | Interpolation linéaire 2016 - 2019 | | |
| 2019 | Données [1342] | | |
| 2020-2023 | Report de la donnée 2019 | | |

L'azote résorbé dans les publications de l'UGPVB correspond à la fois à l'azote volatilisé sous forme de $N_2$ dans les stations de nitrification-dénitrification, mais aussi à l'azote volatilisé sous d'autres formes ou encore à l'azote exporté vers d'autres régions.

Pour estimer l'azote résorbé par nitrification-dénitrification, ont été considérées uniquement les modalités de traitement nommées « biologique simple » et « biologiques complet » car on considère bien, pour ces modalités, que l'azote résorbé est volatilisé en $N_2$. En moyenne, on a 90 % de l'azote résorbé relevant de ces modalités en Bretagne. Ce pourcentage est également appliqué aux données d'azote résorbé issues des publications de Levasseur et Lessirard, afin d'éviter toute surestimation de ces quantités. Pour la Bretagne, les quantités d'azote résorbées sont donc recalculées avec ce pourcentage. Pour les stations hors Bretagne, faute de données disponibles, on retient la valeur de 18 tN résorbées par station et par an, correspondant à la valeur observée avant 2003 en Bretagne.

A noter : pour la Bretagne, cette valeur recalculée d'azote résorbé par station a évolué sur la période, passant de 18 tN/station/an en 1998 à 25 tN/station/an en 2017.

Les quantités d'azote résorbées sont estimées de la façon suivante sur la période :

**Tableau 390 : Résumé des modes d'estimation de l'azote résorbé par nitrification-dénitrification sur la période**

| Azote résorbé (tN) | En Bretagne | Hors Bretagne | Total France |
|---|---|---|---|
| 1990-1997 | 0 | 0 | 0 |
| 1998-2002 | Interpolation linéaire 1997 - 2003 | Application du ratio moyen (18 tN/station/an) au nombre de stations recalculé | Somme des stations Bretagne + Hors Bretagne |
| 2003 | Données [989] x 90% | | |
| 2004 | Moyenne 2003,2005 | | |
| 2005 | Données [989] x 90% | | |
| 2006 | Moyenne 2005,2007 | | |
| 2007 | Données [990] x 90% | | |
| 2008- 2012 | Interpolation linéaire 2007 - 2013 | | |
| 2013 | Données [991] x 90% | | |
| 2014-2015 | Interpolation linéaire 2013 - 2016 | | |
| 2016 | Données [1342] x 90% | | |
| 2017-2018 | Interpolation linéaire 2016 - 2019 | | |
| 2019 | Données [1342] x 90% | | |
| 2020-2023 | Report de la donnée 2019 | | |

# Couverture de fosse à lisier

Parmi les paramètres présentés dans les résultats de l'enquête « pratiques d'élevage » de 2015 [980] (voir description plus détaillée en section « Agriculture | Introduction »), les pourcentages des fosses couvertes par mode de couverture (avec toit, avec bâche et mât central, avec bâche flottante, sous dalle, non couverte) sont rapportés pour les bovins (détail disponible pour certaines catégories et toutes catégories confondues), les porcins (toutes catégories confondues), pour les ovins (élevages de brebis laitières) et pour les caprins (toutes catégories confondues).

Parmi les différents modes de couverture proposés dans les enquêtes, seules les couvertures avec bâche et mât central et celles avec bâche flottante ont été retenues comme pratiques de réduction des émissions de $NH_3$.

On considère que les pourcentages de fosses couvertes présentés dans les résultats des enquêtes sont une bonne approximation du pourcentage des quantités de lisier (et en particulier d'azote ammoniacal contenu dans les lisiers) stockées selon les différentes couvertures renseignées. Ainsi, ces pourcentages seront appliqués directement aux quantités d'azote ammoniacal stockées des lisiers pour les catégories concernées. De plus, la distinction par sous-catégories n'étant pas disponible, ces pourcentages sont appliqués à l'ensemble des sous-catégories de l'espèce concernée (bovins, porcins, ovins, caprins).

Ces pourcentages sont disponibles au niveau national et pour les nouvelles régions les plus productrices, qui varient selon les espèces. La distinction régionale a été utilisée en porcs uniquement (détail disponible pour les régions Pays de la Loire et Bretagne).

Pour les bovins, ovins et caprins : la part des fosses couvertes est estimée directement au niveau national et appliquée à l'ensemble des régions.

Pour les porcins : la part des fosses couvertes est estimée pour les régions Pays de la Loire et Bretagne, puis le solde national est réparti entre les autres régions au prorata des effectifs gérés en lisier.

De nouvelles données issues du recensement agricole 2020 [1249] ont pu être intégrées. Ce dernier fournit les capacités totales des fosses en 2020 (toutes espèces confondues), ainsi que la capacité totale des fosses avec couverture artificielle souple imperméable (bâche…) (toutes espèces confondues également). Faute de détails concernant les catégories animales, cette capacité totale 2020 couverte est ensuite répartie au prorata des capacités couvertes 2015 au niveau régional. Cela permet malgré tout d'intégrer une évolution sur les années récentes.

Les résultats des données retravaillées sont les suivants :

**Tableau 391 : Pourcentages des lisiers stockés en fosse couverte pour les bovins, porcins, caprins et ovins en métropole pour 2015 et 2020**

| | Bovins | | Porcins | | Caprins | | Ovins | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2015 | 2020 | 2015 | 2020 | 2015 | 2020 | 2015 | 2020 |
| Ile-de-France | 1% | 40% | 1% | 59% | 12% | 100% | 5% | 93% |
| Champagne-Ardenne | 1% | 11% | 1% | 15% | 12% | 100% | 5% | 41% |
| Picardie | 1% | 14% | 1% | 8% | 12% | 98% | 5% | 40% |
| Haute-Normandie | 0% | 8% | 1% | 24% | 12% | 100% | 5% | 45% |
| Centre | 1% | 32% | 1% | 36% | 17% | 100% | 5% | 74% |
| Basse-Normandie | 0% | 3% | 1% | 12% | 12% | 76% | 5% | 26% |
| Bourgogne | 1% | 12% | 1% | 11% | 12% | 97% | 5% | 32% |
| Nord-Pas-de-Calais | 1% | 7% | 1% | 4% | 12% | 49% | 5% | 22% |
| Lorraine | 1% | 12% | 1% | 16% | 12% | 100% | 5% | 41% |
| Alsace | 1% | 5% | 1% | 6% | 12% | 47% | 5% | 14% |
| Franche-Comté | 1% | 3% | 1% | 5% | 12% | 34% | 5% | 8% |
| Pays de la Loire | 1% | 10% | 2% | 14% | 12% | 69% | 5% | 14% |
| Bretagne | 1% | 4% | 3% | 10% | 12% | 42% | 5% | 13% |
| Poitou-Charentes | 1% | 11% | 1% | 13% | 9% | 88% | 0% | 0% |
| Aquitaine | 1% | 14% | 1% | 12% | 9% | 63% | 0% | 0% |
| Midi-Pyrénées | 1% | 11% | 1% | 11% | 12% | 72% | 5% | 5% |
| Limousin | 1% | 9% | 1% | 13% | 9% | 72% | 0% | 0% |
| Rhône-Alpes | 1% | 12% | 1% | 14% | 9% | 76% | 5% | 5% |
| Auvergne | 1% | 45% | 1% | 51% | 9% | 100% | 5% | 5% |
| Languedoc-Roussillon | 1% | 5% | 1% | 5% | 12% | 39% | 5% | 5% |
| Provence-Alpes-Côte d'Azur | 1% | 1% | 1% | 1% | 12% | 4% | 5% | 2% |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Corse | 2% | 0% | 1% | 0% | 12% | 0% | 5% | 0% |
| Total national (Métropole) | 1% | 10% | 2% | 12% | 12% | 65% | 2% | 5% |

**A noter :** la part des fosses couvertes en ovins et caprins parait très élevée, mais pèse finalement peu dans le total national car ces espèces sont peu gérées en système liquide.

Faute de données disponibles avant 2015, des hypothèses ont été formulées pour estimer les taux d'application des couvertures de fosse pour le passé :

**Tableau 392 : Attribution des taux d'application de la couverture de fosse sur la période**

| | 1990 | 1991 - 2014 | 2015 | 2016-2019 | 2020 – année en cours |
|---|---|---|---|---|---|
| % des lisiers stockés en fosse couverte (bâche et mât central + bâche flottante) | 0% | Interpolation linéaire | Données 2015 | Interpolation linéaire | Données 2020 |

# Modes d'épandage moins émissifs – Matériel d'épandage et délai d'enfouissement

Pour estimer les abattements d'émission de $NH_3$ liés aux modalités d'épandage, il faut pouvoir estimer les quantités d'azote ammoniacal épandues par type d'association « matériel + délais d'incorporation ». Ce paramètre est nommé $Frac_{épan\ i,m}$ dans la méthodologie générale dont l'équation est présentée en section « Gestion des déjections animales - 3.B » ainsi que ci-dessous pour rappel.

$$N\text{-}NH_{3\ épandage} = \sum_{i,m} \{Frac_{épan\ i,m} \times TAN_{épan\ i} \times FE_{épan\ i} \times FA_{i,m}\}$$

L'estimation du paramètre $Frac_{épan\ i,m}$ est réalisée différemment entre la période historique (1990-2020) et la période récente (2021-2023) dans le but d'obtenir un paramètre annualisé à partir de 2021.

Le calcul de la part de l'azote épandu selon le matériel d'épandage et le délai suit une méthodologie prenant en compte trois informations distinctes :

1) Les résultats d'enquêtes pratiques culturales
2) L'azote des digestats de méthanisation agricole
3) Un modèle d'évolution du parc de tonnes à lisier (à partir de 2021)

## (1) Les enquêtes pratiques culturales

Les données utilisées issues des résultats d'enquêtes nommées « pratiques culturales » conduites pour les années 2011, 2017 et 2021 [485] – fournies par le service des statistiques du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire –permettent de connaître, au niveau régional, les quantités d'azote apportées (en tonnes d'azote) par type d'effluent, par matériel et délais d'épandage.

Les combinaisons connues sont listées dans le tableau suivant.

**A noter :** pour rendre le tableau plus lisible, les délais d'incorporation post-épandage en heures sont numérotés de la manière suivante :

- Délais 1 : < 4 h ;
- Délais 2 : 4 < h < 12 ;
- Délais 3 : 12 < h < 24 ;
- Délais 4 : > 24 h ;
- Délais 5 : sans objet.

**Tableau 393 : Combinaisons des pratiques tirées des enquêtes Pratiques Culturales 2011, 2017 et 2021**

| Catégorie animale | Type d'effluent | Matériel | Délais |
|---|---|---|---|
| Bovins | Lisier | Buse et rampe | 1 à 5 |
| | | Pendillard | 1 à 5 |
| | | Enfouisseur | 1 |
| | | Indifférencié | 1 à 5 |
| | Fumier | Epandeur fumier | 1 à 5 |
| | | Indifférencié | 1 à 5 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Porcins | Lisier | Buse et rampe | 1 à 5 |
| | | Pendillard | 1 à 5 |
| | | Enfouisseur | 1 |
| | | Indifférencié | 1 à 5 |
| | Fumier | Epandeur fumier | 1 à 5 |
| | | Indifférencié | 1 à 5 |
| Volailles* | Fumier, Fientes ou lisier | Buse et rampe | 1 à 5 |
| | | Pendillard | 1 à 5 |
| | | Enfouisseur | 1 |
| | | Epandeur fumier | 1 à 5 |
| | | Indifférencié | 1 à 5 |
| Autres | Fumier, lisier, compost, digestats, boues de station d'épuration, etc.** | Buse et rampe | 1 à 5 |
| | | Pendillard | 1 à 5 |
| | | Enfouisseur | 1 |
| | | Indifférencié | 1 à 5 |
| | | Epandeur fumier | 1 à 5 |
| | | Indifférencié | 1 à 5 |
| ** Pour les volailles, la distinction liquide/solide n'est pas faite dans les enquêtes. Le type de produit est déduit du type de matériel. Ainsi pour les volumes épandus par épandeur à fumier et par un matériel indifférencié sont considérés solides, le reste des effluents est considéré liquide. Cette catégorie est associée aux autres effluents dans la méthodologie d'estimation du* $Frac_{épan\ i,m}$ | | | |
| *** Le listing complet est disponible au niveau du questionnaire d'enquête* https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/methodon/S-PK%20GC%202021/methodon/ *[dernier accès 02/02/2025]* | | | |

Grâce à ces données, il est alors possible de répartir les quantités d'azote ammoniacal épandues (appelées $TAN_{épandus}$) par combinaison de pratiques entre 2011 et 2021. A partir de 2021, la répartition des épandages par matériel, espèce et délai d'incorporation sont annualisées en fonction d'un modèle présenté en annexe « A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage ».

Pour les lisiers bovins et porcins, des données concernant les matériels d'épandage sont disponibles dans les enquêtes bâtiment 2001 et 2008 [480] mais aucune information n'est fournie sur les délais d'incorporation après épandage. Le choix a été fait d'abandonner les données fournies par l'enquête de 2008 au profit de celles de l'enquête pratiques culturales de 2011, jugées plus pertinentes pour estimer les réductions d'émissions. En revanche, les données 2001 concernant les matériels ont bien été utilisées, en y associant des délais d'incorporation après épandage moyen recalculés à partir des données de 2011. En 2021, les enquêtes pratiques culturales ne concernent que les grandes cultures et ne prennent pas en compte les surfaces en prairies. Les pratiques d'épandages sur les prairies ont donc été estimées à partir des données de l'enquête 2017 sur les grandes cultures et les prairies. Les données sont utilisées de la façon suivante pour **les lisiers bovins et porcins** (hors digestats de méthanisation) et pour **les autres effluents solides** sur la période :

- de 1990 à 2001 : utilisation des données des enquêtes bâtiments 2001 auxquelles on associe des délais d'incorporation moyen après épandage de 2011 ;
- de 2002 à 2010 : interpolation linéaire entre les données de 2001 (auxquelles on a associé des délais d'incorporation moyen après épandage de 2011) et celles de 2011 ;
- en 2011 : utilisation des données 2011 ;
- de 2012 à 2016 : interpolation linéaire entre les données de 2011 et celles de 2017 ;
- en 2017 : utilisation des données 2017 ;
- de 2017 à 2020 : interpolation linéaire entre les données de 2017 et celles de 2021 ;
- 2021 : utilisation des données 2021 pour les grandes cultures et maintien des pratiques 2017 sur les prairies ;
- 2022-2023 : couplage entre les données 2021 et le modèle d'évolution du parc matériel présenté en annexe « A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage ».

Pour **les autres effluents liquides**, on distingue l'azote des digestats et les autres produits résiduaires organiques liquides :

- L'azote des digestats est supposé épandu à 100 % par pendillards (*cf.* paragraphe suivant) auquel on affecte les délais d'épandage de la catégorie
- L'azote des autres produits résiduaires organiques liquides (lisier de volailles, lisiers caprins, boues, etc.) est réparti selon le mode d'épandage par différence entre le résultat du modèle de parc et les épandages liquides précédemment épandus (lisiers bovins, lisiers porcins et digestats de méthanisation)

### (2) Les digestats de méthanisation

L'azote des digestats de méthanisation est estimé au sein de la section introductive au paragraphe « Méthanisation agricole ». Les digestats sont supposés être épandus à 100 % par pendillards. En pratique dans l'inventaire l'ensemble des digestats de méthanisation sont considérés liquides. En effet, tous les méthaniseurs recensés dans la base de données SEA Métha de l'Ademe [1329] sont soumis

à un régime ICPE. Or les différents arrêtés ICPE suggèrent l'usage a minima d'un matériel moins émissif à l'épandage des digestats ou au mieux d'un enfouissement direct.

### (3) Modèle d'évolution du parc national de tonnes à lisier

L'épandage par matériel moins émissif étant en évolution rapide sur la période récente – dans un contexte réglementaire fixant des objectifs annuels de réduction d'émissions – le suivi des matériels d'épandage entre la dernière enquête pratiques culturales (2021) et la dernière année d'inventaire suit une évolution annuelle. Cette évolution est estimée au moyen d'un modèle d'évolution de parc de tonnes à lisier calibré à partir d'informations professionnelles issues de l'étude [1344] et dont le fonctionnement est présenté en annexe « A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage ».

Le parc de tonnes à lisiers est estimé pour l'année de référence 2021 en fonction des informations issues des CUMA, des ETA et des enquêtes pratiques culturales pour la même année. La dynamique d'épandage selon le matériel est modélisée de la façon suivante :

- Une fonction de survie est calibrée à partir d'une base de données de plus de 5 000 tonnes à lisier d'un âge allant de 0 à 32 ans permettant d'estimer le taux de renouvellement des tonnes à lisier ;
- Une fonction de voyage est utilisée permettant d'estimer le taux d'utilisation des matériels en fonction de leur âge (nombre de passages facturés) et d'en déduire un volume épandu par type de matériel ;
- Les volumes bruts d'effluents liquides épandus par matériel d'épandage (en $m^3$) sont convertis en quantités d'azote sur la base des teneurs moyennes issues des enquêtes pratiques culturales ;
- Un parc de pendillard épandant des digestats de méthanisation est ensuite déduit du parc total afin de projeter les épandages par matériel uniquement sur le périmètre hors digestats ;
- La dynamique de parc est ensuite issue des fonctions de voyage et de survie, en faisant l'hypothèse d'un maintien de la structure des ventes de matériel de la dernière année disponible.

Le modèle complet est explicité en annexe « A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage ».

Le tableau ci-dessous résume la gestion des données selon la forme d'azote épandue :

**Tableau 394. Attribution des taux d'application des différents modes d'épandage sur la période**

<table>
<tr><th></th><th>1990-2001</th><th>2002-2010</th><th>2011</th><th>2012-2016</th><th>2017</th><th>2018-2020</th><th>2021</th><th>2022-2023</th></tr>
<tr><td>Lisiers bovins et porcins</td><td>PK 2001 avec application délais PK 2011</td><td>Interpolation linéaire 2001-2011</td><td>Données PK 2011</td><td rowspan="2">Interpolation linéaire 2011-2017</td><td rowspan="2">Données PK 2017</td><td rowspan="2">Interpolation linéaire 2011-2017</td><td rowspan="2">Données PK 2021 grandes cultures<br>+<br>Données PK 2017 prairies</td><td rowspan="2">Modèle de parc</td></tr>
<tr><td>Autres effluents liquides</td><td colspan="3">Données PK 2011</td></tr>
<tr><td>Digestats de méthanisation</td><td colspan="8">Matériel : 100% pendillards<br>Délais : enquêtes PK 2021</td></tr>
<tr><td>Effluents solides</td><td colspan="3">Données PK 2011</td><td>Interpolation linéaire 2011-2017</td><td colspan="4">Données PK 2017</td></tr>
</table>

Le résultat sur l'évolution des épandages par matériel (en kt de TAN) est représenté dans la figure ci-dessous :

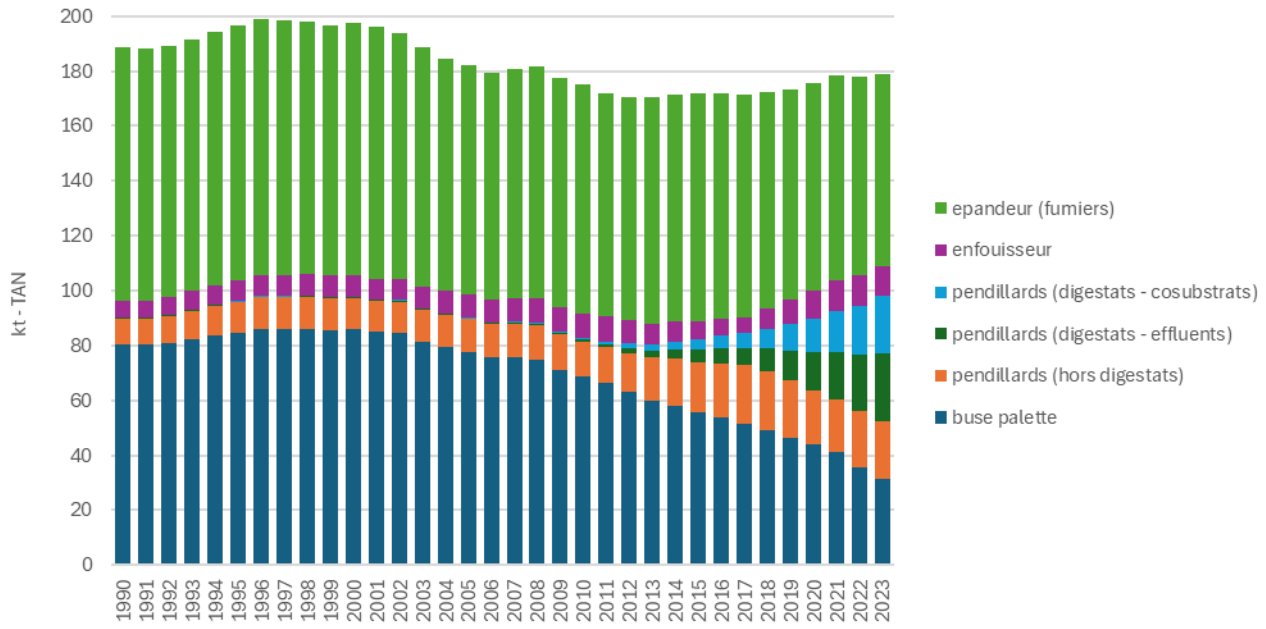



**Figure 251. Epandages de TAN selon le matériel d'épandage et le type d'effluents pour les pendillards**

# Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage

Dans le cadre du processus d'amélioration continue des inventaires, les ministères de l'agriculture et de l'environnement ont commandité deux études (en 2023 et 2024) ayant pour objectif de mettre en place une méthodologie permettant d'estimer l'évolution annuelle des pratiques d'épandage de lisier par type de matériel afin de mettre à jour plus fréquemment l'inventaire Citepa.

Cette demande est intervenue dans le contexte du plan matériel d'épandage moins émissifs (PMEME), et du Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA), où l'épandage par buse palette est progressivement amené à être remplacé par des matériels moins émissifs (pendillards ou injecteurs) pour lesquels l'abattement d'émission se situe entre 30 % et 90 % selon le guide UNECE (2014) en cours de révision. Cette amélioration méthodologique permettra aussi au Gouvernement de suivre plus finement les trajectoires françaises d'émissions de $NH_3$ et de les comparer aux trajectoires à respecter du décret n° 2022-1654.

Cette annexe au rapport OMINEA reprend les principaux éléments conduisant à une nouvelle estimation de l'azote épandu, sous forme liquide, selon le matériel d'épandage. Cette nouvelle méthodologie est mise en place à partir de l'édition 2025 de l'inventaire Citepa.

## Modélisation des pratiques d'épandage

### Etude du gisement liquide épandable

La présente étude s'appuiera sur les résultats d'une précédente étude nommée « Travaux d'amélioration des inventaires nationaux de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques par une meilleure prise en compte des agroéquipements ».

Les résultats de cette précédente étude [1330] ont mis en évidence un écart entre les volumes d'effluents liquides épandus par les CUMA et ETA en 2021 (dernière estimation à 67,1 Mt) et les estimations du gisement total de lisier récupérable réalisées à travers différents projets tels que ELBA[43] (41,2 Mt en 2015) ou l'ONRB[44] (40,4 Mt en 2020) [1322,1323].

Ces écarts peuvent s'expliquer notamment par des différences de périmètres entre ces différents projets. ELBA et l'ONRB s'appuient sur les cheptels, les excrétions animales, les types de bâtiments pour estimer des volumes de lisier épandable tandis que l'étude [1330]

[43] [1322] Marsac, S., Heredia, M., Labalette, F., Delaye, N., Levasseur, P., Capdeville, J., Gervais, F., Ponchant, P., 2018. ELBA: A National reference tool for for agricultural biomasse resource assessment in France. https://elba.arvalis-ext.com/
[44] [1323] FranceAgriMer, 2020. L'Observatoire National des Ressources en Biomasse - Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France – édition décembre 2020.

s'appuie sur les matériels d'épandage. Or les matériels peuvent épandre toute sorte de produits résiduaires organiques liquides (PRO) pas seulement des lisiers.

L'écart entre les estimations (en volume) peut donc s'expliquer par l'existence de produits autres que les effluents animaux ou par des effluents animaux très dilués :

- Produits liquides contenant peu d'azote et susceptibles d'être dirigés vers une fosse à lisier (eau de pluie, eaux vertes et blanches, autres eaux de lavage des bâtiments)
- Autres produits pour lesquels le mode de gestion n'est pas suivi de la même manière que les excrétions animales dans l'inventaire Citepa (boues de STEP, boues IAA, fraction végétale des digestats, jus de silos, etc.).

Une brève étude bibliographique a ainsi été conduite afin d'aboutir à une estimation du gisement total de produits résiduaires organiques liquides épandables. Les résultats de cette étude sont donnés ci-après.

## Masse volumique des lisiers et autres PRO

Pour les lisiers de porc la masse volumique moyenne se situe autour de 1 025 kg / m$^3$ [1324]. Toutefois, la masse volumique est variable, notamment en fonction du taux de matière sèche (MS) des lisiers et autres PRO qui peut varier de 2 % à 12 % de MS (autour de 4% pour un lisier de porc, entre 8 % et 10 % pour un lisier bovin pur et entre 6 % et 8 % pour un digestat brut de méthanisation). Sur la base des références sur les caractéristiques des lisiers porc on peut donner une formule approximative de la masse volumique d'un PRO liquide en fonction de sa teneur en MS en kg / kg (%MS/100) :

$$Masse\ volumique\ PRO\ \ (kg/m3) = \ 1000 * \frac{1}{1-\frac{\%MS/100}{2}}$$

On obtient les valeurs indicatives rapportées dans le tableau ci-dessous. On constate que la masse volumique des lisiers est donc assez proche de celle de l'eau (1 000 kg / m3).

**Tableau 395. Estimation de la masse volumique d'un PRO liquide en fonction de sa teneur en matière sèche (%MS)**

| Teneur en matière sèche (%MS en kg / kg) | Masse volumique (kg / m$^3$) |
|---|---|
| 2% | 1 010 |
| 4% | 1 020 |
| 6% | 1 031 |
| 8% | 1 042 |
| 10% | 1 053 |
| 12% | 1 064 |

Les différentes publications sur le gisement [1322,1323] fournissent des résultats en tonne. Compte tenu du nombre de sources mobilisées dans l'étude du gisement, de la variabilité des produits concernés (lisiers bovins, porcins, digestats, eaux vertes et blanches…) et par mesure de simplification, la masse volumique d'un PRO liquide est considérée équivalente à celle de l'eau (soit 1 t = 1 m$^3$) au sein de l'inventaire.

## Lisiers bovins

Au sein de l'inventaire Citepa, la production de lisier bovin est estimée à partir des statistiques de cheptel, des temps passés au bâtiment et en fonction du type de stabulation. Pour chaque type de stabulation les déjections sont réparties selon leur forme (lisier, fumier mou, fumier compact, fumier très compact) en fonction de références techniques fournies par l'Idele (voir section « Gestion des déjections animales - 3.B »). Cette répartition est historiquement utilisée pour répartir l'azote par forme mais il est possible de l'utiliser pour estimer les volumes de lisier produits par les animaux en m$^3$. Pour faire cela on sélectionne les UGB bovins en gestion liquide et on leur affecte une production de lisier de 22,4 m$^3$ / UGB (communication Idele) ainsi qu'un temps passé à la pâture. On estime ainsi à 37 millions de m$^3$ les quantités de lisiers bovins en fosse en 2022 (hors eaux brunes, vertes et blanches) soit environ deux fois plus que dans ELBA.

**Tableau 396. Hypothèses de répartition des UGB bovins selon le mode de gestion, temps pâture et volumes de lisier récupérable**

| Type de sol | UGB bovins en 2022 | % des déjections sous forme liquide | temps pâture | m3 lisier en fosse / an |
|---|---|---|---|---|
| Plein air intégral | 968 218 | | 100% | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stabulation (ou étable) entravée | avec litière | | | 1 185 858 | 0% | | 0 |
| | sans litière | | | 83 209 | 100% | 41% | 1 101 388 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte | pente paillée | | | 206 473 | 0% | | 0 |
| | litière accumulée | aire d'exercice raclée | fumier | 1 386 971 | 22% | 47% | 3 564 134 |
| | | | lisier | 587 673 | 67% | 43% | 4 996 189 |
| | | aire d'exercice caillebotis (lisier) | | 127 913 | 67% | 42% | 1 105 514 |
| | | aire paillée intégrale | | 4 192 464 | 17% | 49% | 8 001 301 |
| | logettes | aire d'exercice bétonnée | fumier | 1 455 874 | 25% | 39% | 4 995 916 |
| | | | lisier | 159 953 | 100% | 40% | 2 153 913 |
| | | aire d'exercice caillebotis | | 107 424 | 100% | 23% | 1 860 952 |
| Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte | pente paillée | alimentation distribuée | | 54 673 | 28% | 49% | 170 539 |
| | | alimentation silo libre service | | 0 | | | 0 |
| | litière accumulée | système fumier | alimentation distribuée | 1 682 303 | 31% | 52% | 5 613 187 |
| | | | alimentation silo libre service | 0 | 0% | | 0 |
| | | système lisier | alimentation distribuée | 109 079 | 67% | 36% | 1 047 344 |
| | | | alimentation silo libre service | 0 | 0% | | 0 |
| | logettes | système fumier | alimentation distribuée | 298 352 | 34% | 37% | 1 438 195 |
| | | | alimentation silo libre service | 0 | 0% | | 0 |
| | | système lisier | alimentation distribuée | 60 655 | 100% | 23% | 1 045 114 |
| | | | alimentation silo libre service | 0 | 0% | | 0 |
| **Ensemble des bovins** | | | | 12 667 092 | 23% | 45% | 37 093 685 |

### Lisiers porcins et autres animaux

Pour les lisiers de porc (18 $Mm^3$) et les lisiers de volailles (5 $Mm^3$) les valeurs de l'outil ELBA ont été mobilisées. Pour les autres animaux, les volumes en lisier n'ont pas été estimés et ont été considérés négligeables (même si les caprins laitiers sont essentiellement en gestion liquide).

### Digestats de méthanisation

Les tonnages d'intrants en méthanisation agricole sont suivis dans l'inventaire et estimés au moment de l'étude à 14,5 Mt de matière brute en 2021, dont 7,9 Mt de cosubstrats, 3,8 Mt de lisier et 2,8 Mt de fumier. Concernant les lisiers, ces volumes sont déjà estimés dans les paragraphes précédents et ne doivent pas être double-comptés. En revanche, les digestats sortent majoritairement sous forme liquide même si les produits intrants peuvent être solides.

Sur la base des références de l'ACV Inrae [1295] et des données régionales sur le mode de valorisation on estime à 90 % le tonnage des digestats épandus sous forme liquide. Sur la base des données de tonnages entrants et sortants dans les unités de méthanisation du secteur des déchets issus de l'Ademe [798] on estime à 40 % la masse émise sous forme gazeuse (production de biogaz et pertes). Aussi sur la base des tonnages entrants de fumiers et de cosubstrats on peut estimer les tonnages de digestats liquides épandables.

**Tableau 397. Tonnages d'intrants en méthanisation en 2021 (hors fraction lisier) et de digestats liquides sortants**

| | Intrants en méthanisation (hors lisier) | Fraction émise sous forme gazeuse | % liquide | Digestats liquides sortants |
|---|---|---|---|---|
| | millions de tMB | % | % | millions de tMB |
| **Total hors lisier** | **13,6** | **40%** | **90%** | **7,4** |
| Méthanisation agricole (fraction végétale) | 7,9 | 40% | 90% | 4,2 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Méthanisation agricole (fraction fumier) | 2,9 | 40% | 90% | 1,6 |
| Méthanisation des IAA | 2,3 | 40% | 90% | 1,2 |
| Méthanisation du secteur des déchets | 0,6 | 40% | 90% | 0,3 |

## Eaux vertes et blanches

Les eaux vertes et blanches correspondent à l'eau chaude sanitaire de lavage des installations de traite (eaux blanches) et à l'eau froide pour le nettoyage de la salle de traite, des quais, sols et murs (eaux vertes). Ce sont des effluents généralement peu chargés en azote (<0,5 kgN/m3) ce qui explique que leur suivi n'est pas réalisé au sein de l'inventaire Citepa. Par ailleurs, on considère que l'azote contenu dans ces eaux est déjà estimé au niveau de l'excrétion azotée (voir section « Gestion des déjections animales - 3.B ») et donc inclus dans les lisiers, fumiers.

Selon les experts interrogés (Idele, groupe de travail agriculture sur les inventaires), ces eaux sont majoritairement dirigées vers les fosses à lisier (à 90 % selon les experts Idele), les exploitations disposant d'un système de traitement séparé étant jugées plutôt rares. Les résultats de l'enquête bâtiment 2015 sont difficiles à interpréter sur cette question et ont donc été écartés de l'analyse.

Afin d'estimer les volumes d'eaux vertes et blanches nous nous appuyons sur les références du Comité Régional Bâtiment Bretagne [1325] sur les temps de traite, de l'Idele sur les besoins en stockage [1326] et sur les enquêtes pratiques d'élevage en 2015 [980] pour la répartition des salles de traites.

En croisant les informations de ces différentes sources nous recalculons les volumes d'eaux vertes et d'eau blanches par vache laitière (VL) en fonction du type de salle de traite et de la taille d'élevage.

**Tableau 398. Estimation des volumes d'eaux vertes et blanches par vache laitière (VL) par an (en litres / VL / an) en fonction du type de salle de traite et de la taille de l'exploitation. Source : Estimations Citepa d'après [980], [1325] et [1326]**

| Salle de traite | VL<50 | VL [50-74] | VL [75-99] | VL > 100 | Vmixte < 75 | Vmixte > 75 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Robot** | 12 565 | 8 147 | 10 558 | 9 299 | 7 502 | 23 445 |
| **Tandem** | 9 779 | 10 033 | 7 348 | 6 416 | 9 239 | 16 316 |
| **Arrière** | 11 203 | 8 508 | 9 973 | 7 231 | 7 668 | 22 146 |
| **Epis** | 8 046 | 6 281 | 9 203 | 6 670 | 5 784 | 12 736 |
| **Rotative** | 33 082 | 21 450 | 15 253 | 9 369 | 19 753 | 33 868 |
| **Mobile** | 8 046 | 6 281 | 9 203 | 6 670 | 5 784 | 12 736 |
| **Traite à l'étable** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

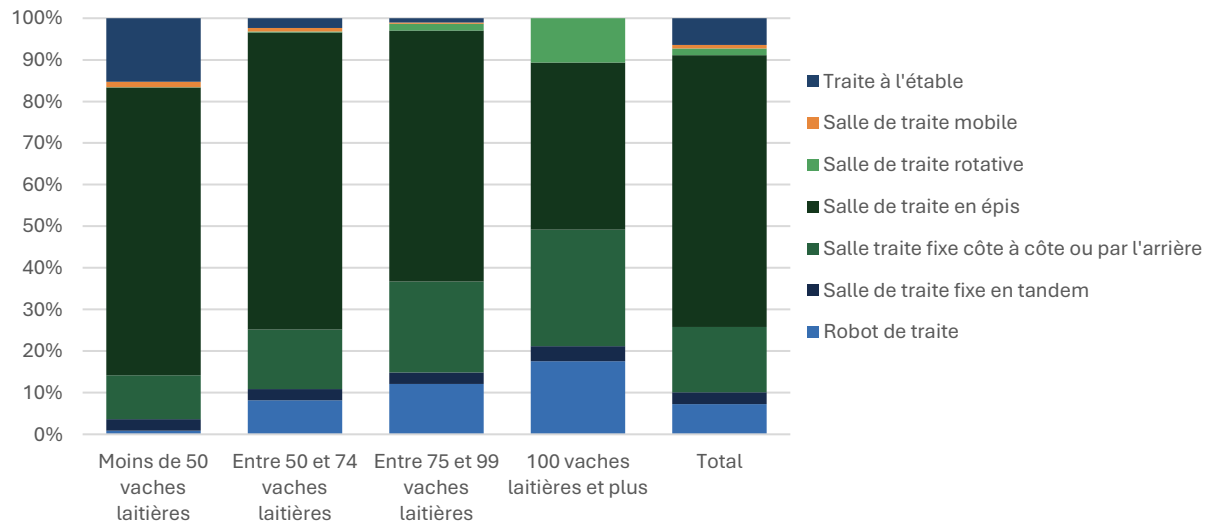



**Figure 252. Répartition des élevages selon le type d'équipement des salles de traite – source : [980]**

En moyenne on estime donc les consommations d'eau à 8 $m^3$ / VL / an (5$m^3$ en eaux vertes et 3$m^3$ en eaux blanches) qui donne une quantité annuelle totale de 26 millions de $m^3$ en 2022 (pour 3,2 millions de vaches laitières). Nous faisons l'hypothèse que 90 % de ces volumes sont dirigés vers les fosses à lisier soit 24 millions de $m^3$.

### Autres effluents liquides

Les autres produits résiduaires organiques liquides épandables identifiés sont de natures diverses :

- Boues de station d'épuration (STEP)
- Eaux de lavage des bâtiments (hors eaux vertes et blanches)
- Jus de silo
- Eaux brunes et pluies sur fosses
- Eaux de sucrerie

Tous ces produits ne sont pas nécessairement épandus sur les sols agricoles et certains modes d'épandage sont hors périmètre d'étude (rampes d'irrigation des eaux de sucrerie par exemple).

Les eaux brunes peuvent potentiellement représenter de gros volumes en comptant les aires d'exercice non couvertes sur lesquelles de l'eau de pluie peut tomber contribuant à remplir les fosses à lisier. Sur la base des statistiques de pluviométrie et d'évapotranspiration, ainsi qu'en estimant les surfaces de fosses non couvertes nous estimons à 2,2 millions de $m^3$ les volumes annuels d'eaux brunes.

Pour les élevages porcins, les volumes d'eau de lavage des bâtiments sont estimés par l'IFIP[45] à 2300 litres / truie présente / an en système naisseur engraisseur. En affectant ce chiffre au cheptel de truies (970 000 têtes) nous obtenons une consommation d'eau de lavage pour les élevages porcins de 2,2 millions de $m^3$.

Les jus de silo ont été estimés sur la base des références Idele ainsi que sur une estimation du volume total d'ensilages établie à partir des données d'alimentation animale du GIS avenir élevage. On estime à 64 millions de $m^3$ le volume d'ensilage de maïs et à 21 millions de $m^3$ le volume d'ensilage d'herbe. Sur la base des références Idele on estime une production de jus de silo à 15 litres / $m^3$ de silo soit un total annuel de 1,3 millions de $m^3$.

Selon l'INSEE et la BD ERU les boues de station d'épuration (STEP) et les boues d'industries agroalimentaires peuvent représenter des volumes non négligeables. En l'absence d'informations précises sur la nature des traitements et la valorisation des déchets nous faisons l'hypothèse que les phases solides sont épandues et que les phases liquides sont traitées et rejetées vers le milieu sans épandage. Pour les eaux de sucreries, on considère que ce sont des effluents peu chargés (<0,5 kgN/$m^3$), de faible taux de minéralisation et que l'essentiel est épandu à travers des rampes d'irrigation, le tout conduisant à des émissions négligeables de $NH_3$ à l'épandage.

### Estimation du gisement liquide total

En regroupant l'ensemble de ces sources pour l'année de référence 2021, les volumes liquides épandus par tonne sont estimés à 97 millions de $m^3$ principalement composés de lisiers (60 $Mm^3$), d'eaux vertes et blanches dirigées vers les fosses à lisier (24 $Mm^3$), de digestats de méthanisation hors fraction lisier (7 $Mm^3$) et d'autres effluents liquides (6 $Mm^3$). Les chiffres de cette section sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 399. Estimation du gisement de produits résiduaires organiques liquides épandables par tonne en 2021**

| | Volumes totaux mis en œuvre | Fraction liquide | Fraction épandue | Effluents liquides épandus | Source |
|---|---|---|---|---|---|
| | $Mm^3$ | % | % | $Mm^3$ | |
| Lisier bovins lait | 23,8 | 100% | 100% | 23,8 | Citepa (sources multiples) |
| Lisier bovins viande | 13,3 | 100% | 100% | 13,3 | Citepa (sources multiples) |
| Lisier porcins | 18,1 | 100% | 100% | 18,1 | [1322] |
| Lisier volailles | 5,2 | 100% | 100% | 5,2 | [1322] |
| Lisier autres animaux | NE | NE | NE | 0,0 | Non estimé |
| **Total effluents d'élevage** | **60,3** | | | **60,3** | |
| Digestats de méthanisation (hors fraction lisier) | 13,6 | 90% | 60% | 7,4 | Citepa (sources multiples) |
| Boues des STEP des IAA | 13,0 | NE | NE | NE | [1328] |
| Autres boues des IAA épandues | 6,3 | NE | NE | NE | [1328] |

[45] IFIP, 2014. La consommation d'eau en élevage de porcs - Des leviers pour réduire la consommation d'eau en élevage de porc.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Boues de STEP urbaines épandues | 1,5 | NE | NE | NE | [752] |
| Eaux vertes et blanches (lait) | 26,4 | 100% | 90% | 23,7 | Citepa (sources multiples) |
| Eaux de lavage des bâtiments porcins | 2,2 | 100% | 100% | 2,2 | [1327] |
| Jus de silo | 1,3 | 100% | 100% | 1,3 | Citepa (sources multiples) |
| Eaux brunes et eaux sur fosses | 2,2 | 100% | 100% | 2,2 | Citepa (sources multiples) |
| **Total autres effluents liquides** | **64,3** | | | **36,8** | |
| **Total PRO liquides** | **124,6** | | | **97,2** | |

# Modèle de parc

Les volumes d'effluents liquides épandus par les CUMA et les ETA en France sont estimés à 67,1 millions de $m^3$ dont 42,8 $Mm^3$ épandues par les CUMA et 24,2 $Mm^3$ épandues par les ETA.

Ces valeurs ont été réactualisées à partir de l'étude [1330]. Les bases de données professionnelles fournies par les CUMA ont été utilisées pour calibrer le modèle de parc de l'inventaire sur l'année de référence 2021.

Nous utilisons ainsi la base de données sur les équipements constituée dans l'étude [1330] ainsi qu'une base de données issue du Guide des Prix de Revient (GPR) donnant des indications sur les voyages facturés selon le type de tonne à lisier.

## Caractéristiques du parc Cuma

### Taux d'activité : Fonctions de voyage

Le guide des prix de revient (GPR) permet d'estimer le nombre de voyages facturés en fonction de la capacité des tonnes à lisier (tal) et de leur âge (Tableau 400). Au sein du modèle de parc ces références seront converties en une « fonction de voyage » dont une représentation est fournie Figure 253. Dans le modèle de parc il y a donc six fonctions de voyage (une par catégorie de capacité).

**Tableau 400. Nombre de voyages moyen facturés par an selon la capacité de la tonne et l'année d'achat – source : FNCUMA d'après Guide des prix de revient**

| Capacité de la tonne à lisier (en litres) | Age de la tonne à lisier (en années) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0 - 6 | 7 - 12 | 13 - 32 | > 32 |
| < 12000 | 845 | 715 | 423 | NE |
| 12001 à 14000 | 750 | 630 | 436 | NE |
| 14001 à 16800 | 814 | 692 | 456 | NE |
| 17001 à 18000 | 971 | 790 | 579 | NE |
| 18001 à 21000 | 934 | 809 | 630 | NE |
| > 21000 | 1581 | 1273 | 990 | NE |

*NE : Non estimé*

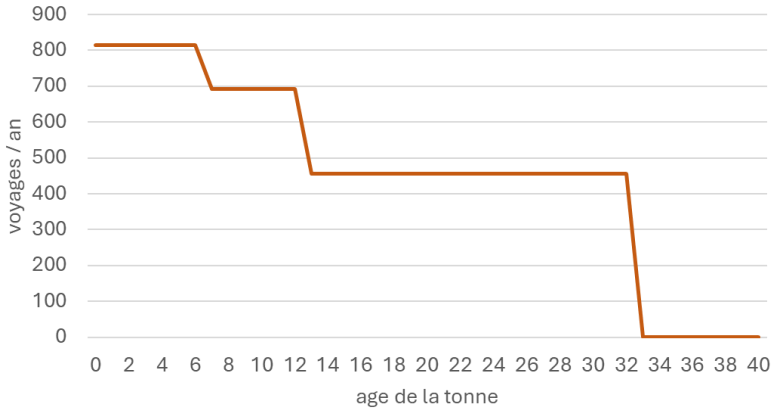



**Figure 253. Fonction de voyage pour une tonne à lisier d'une capacité inférieure à 12000 litres**

### Taux de survie matériel : Fonction de survie

Afin de faire évoluer le parc de façon annuelle, nous calibrons une fonction de survie sur la base des données de parc en Cuma. Pour les années récentes, le nombre de tonnes à lisier en activité pour chaque tranche d'âge est proche de 300 (310 tal d'un an d'âge, 282 tal de deux ans d'âge, etc.) ce qui correspond à la moyenne annuelle d'achat pour les Cuma. En considérant cette moyenne de 300 tal / an on peut retrouver la fonction de survie du parc Cuma pour l'année de référence 2021 (on ne retrouve que 38 tal de 32 ans soit un taux de survie de 38 / 300 = 12 %). Sur cette base nous avons ajusté les paramètres d'une fonction de survie S(a) d'une loi de Weibull.

La fonction de survie entre 0 et 32 ans s'écrit ainsi : $S(a) = e^{-(a/\lambda)^k}$ avec **a** l'âge de la tonne à lisier

On estime les paramètres **k** et **λ** par régression en linéarisant l'expression : $ln(-ln(S(a)) = k(\ln(a) - \ln(\lambda))$

On obtient ainsi k = 1,52 et λ = 20,56. Sur la base de ces paramètres on peut calculer une demi-vie de 16 ans pour une tonne à lisier. Lorsque les tonnes sont supérieures à 32 ans (t>32), on fait l'hypothèse que le taux de survie est 0% (S = 0). La fonction de survie du modèle de parc de l'inventaire s'écrit donc comme ceci :

$$S(t) = \begin{cases} e^{-(a/20{,}56)^{1{,}52}} & si\ a \in [0,32] \\ 0 & si\ a > 32 \end{cases}$$

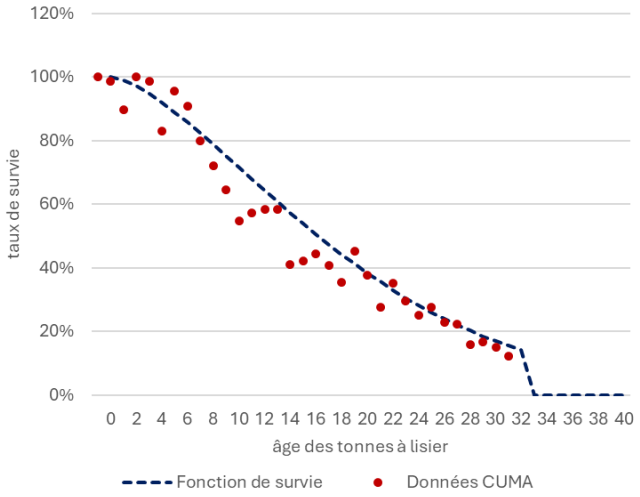



**Figure 254. Fonction de survie ajustée aux données Cuma**

## Reconstitution du parc national de tonnes à lisier

Les informations des références FNCUMA sont compilées au sein du tableau en fin de section. Ces caractéristiques détaillées du parc en Cuma constituent la base sur laquelle est calibré le parc national de l'inventaire Citepa.

L'enquête issue de l'étude [1330] auprès des ETA a permis d'estimer le nombre de tonnes à lisier des ETA ainsi que les volumes d'effluents liquides épandus par catégorie d'équipement mais avec un détail moindre (Tableau 401). Pour chaque catégorie d'équipement (buse palette, pendillard, enfouisseur), on affecte au parc ETA les caractéristiques du parc en Cuma (répartition par âge et par catégorie de capacité). Ensuite la fonction de voyage est ajustée pour que les matériels épandent le même niveau de volume que l'enquête (24 $Mm^3$).

**Tableau 401. Parc de tonnes à lisier dans les ETA en 2022 et volumes épandus – source : étude [1330]**

| Type d'équipement | Volume liquide épandu en m3 | Nombre de tonnes à lisier |
|---|---|---|
| Buse palette | 6 551 689 | 634 |
| Pendillard | 12 491 502 | 1154 |
| Enfouisseur | 5 186 079 | 707 |
| **Total** | **24 229 269** | **2 495** |

Le parc de tonnes à lisier en propre (c'est-à-dire détenu par des agriculteurs et donc hors CUMA et ETA) est quant à lui estimé en plusieurs étapes. Une première étape consiste à estimer les volumes épandus en propre par différence entre l'estimation du gisement épandu total (97,2 $Mm^3$) et les épandages des Cuma (42,8 $Mm^3$) et ETA (24,2 $Mm^3$). On estime donc l'épandage en propre à 30 $Mm^3$ soit près d'un tiers de l'épandage total d'effluents liquides. Le gisement total d'effluents liquides épandus est aussi réparti selon le matériel en mobilisant les données des enquêtes pratiques culturales en grandes cultures en 2021, l'étude du gisement et les données d'inventaire sur l'azote à l'épandage selon le processus décrit dans la figure ci-dessous.

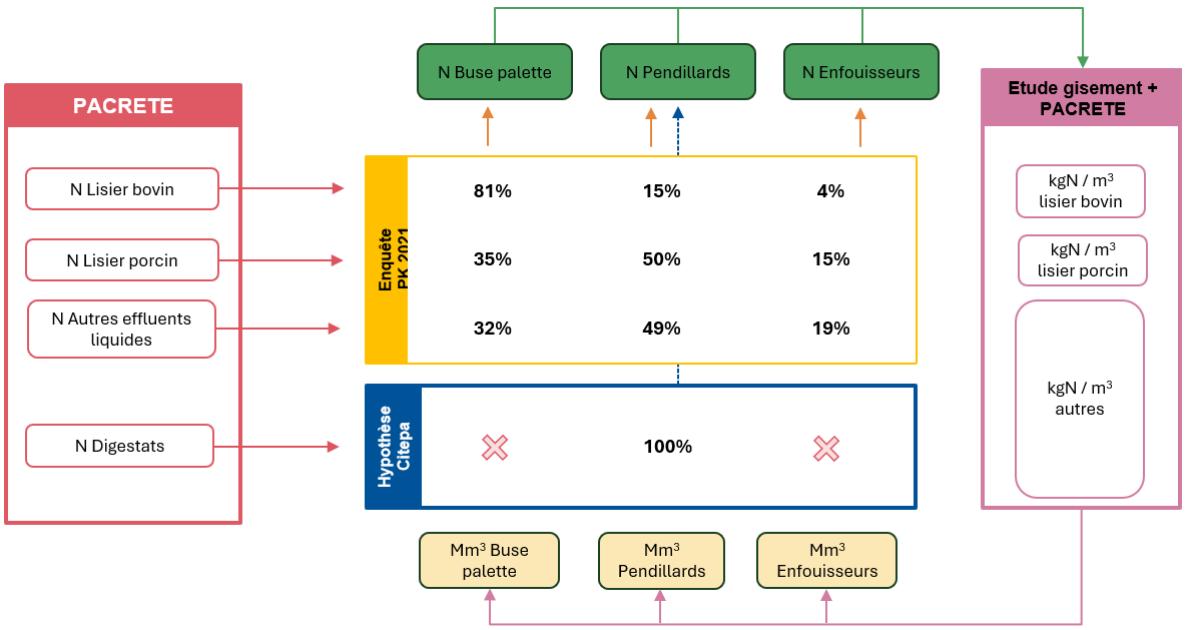



**Figure 255. Estimation de la répartition des volumes d'effluents liquides épandus par type de matériel pour l'année 2021**

L'azote des lisiers bovins, des lisiers porcins et des autres effluents liquides hors digestats est épandu selon la répartition des enquêtes pratiques culturales en grandes cultures en 2021. Les digestats de méthanisation sont supposés être épandus à 100 % par pendillards. En effet, tous les méthaniseurs recensés dans la base de données SEA Métha de l'Ademe [1329] sont soumis à un régime ICPE. Or les différents arrêtés ICPE suggèrent l'usage a minima d'un matériel moins émissif à l'épandage des digestats ou au mieux d'un enfouissement direct[46] [47] [48] [49].En croisant ces informations avec les volumes bruts d'effluents liquides épandus, on peut estimer une teneur en azote moyenne des effluents épandus par type de matériel et en déduire les volumes bruts par matériel (Figure 255). Enfin les volumes épandus par le parc matériel en propre sont recalculés par différence entre le gisement et les volumes épandus par les matériels des prestataires extérieurs (Figure 256).

[46] https://aida.ineris.fr/reglementation/arrete-101109-relatif-prescriptions-generales-applicables-installations-classees

[47] https://aida.ineris.fr/reglementation/arrete-120810-relatif-prescriptions-generales-applicables-installations-classees
[48] https://aida.ineris.fr/reglementation/arrete-101109-fixant-regles-techniques-auxquelles-doivent-satisfaire-installations
[49] https://fertiliser-avec-des-digestats.fr/les-digestats/reglementation/

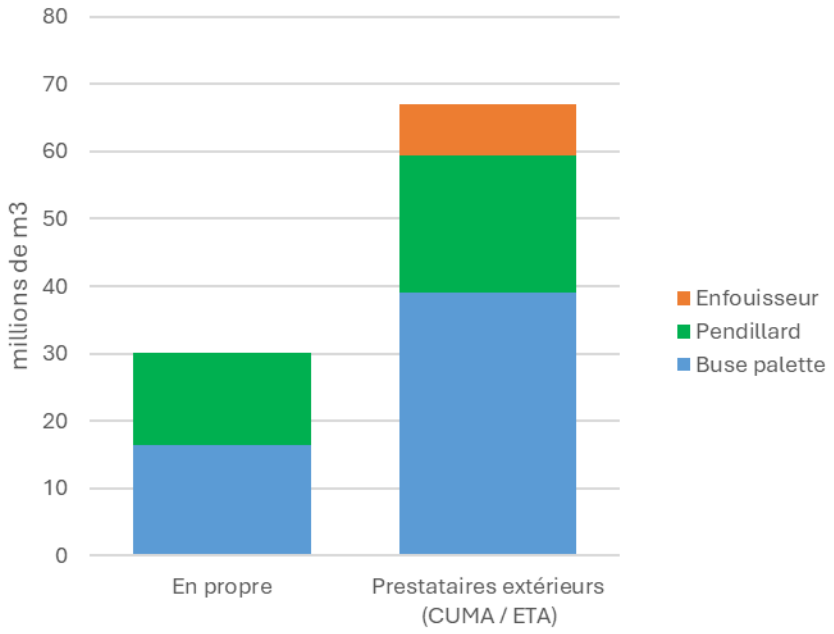



**Figure 256. Volume d'effluents liquides épandus en 2021, selon la propriété du matériel – source : Citepa d'après FNCUMA, ETA et étude du gisement**

Sur la base des informations en volume, des données de ventes moyennes de tonnes à lisier par an issues de l'Axema (1035 tal / an en moyenne entre 2010 et 2021) et de la fonction de survie S(t) on estime un parc de tonne à lisier national encore en activité à 18 508 tonnes à lisier ce qui est proche de l'estimation réalisée par les Cuma dans l'étude [1330].

De la même manière que pour les ETA, pour chaque catégorie d'équipement (buse palette, pendillard, enfouisseur), on affecte au parc en propre les caractéristiques du parc en Cuma (répartition par âge et par catégorie de capacité). Ensuite on corrige la fonction de voyage en fonction des volumes épandus en propre (30 $Mm^3$). Le nombre de voyages moyens obtenus par tonne et par an pour le parc en propre est nettement plus faible qu'en Cuma et ETA (autour de 200 passages / an contre 600 pour les Cuma).

On a ainsi un parc matériel par groupe d'épandage **g** (Cuma, Eta, en propre), par catégorie d'équipement **e**, par catégorie de capacité **c** et par âge du matériel **a** pour l'année de référence 2021 que l'on nommera $\mathbf{n_0(g,e,c,a) = n(t = t_0, g, e, c, a = a_0)}$.

**Tableau 402. Parc matériel par groupe d'épandage et catégorie de matériel en 2021 : n (g, e)**

| | En propre | CUMA | ETA | Total |
|---|---|---|---|---|
| Buse | 7 694 | 4 404 | 634 | 12 732 |
| Pendillard | 3 175 | 523 | 1 154 | 4 852 |
| Enfouisseur | 0 | 217 | 707 | 924 |
| **Total** | **10 869** | **5 144** | **2 495** | **18 508** |

## Dynamique de parc matériel et volumes d'épandage

Le parc étant fixé pour l'année 2021, l'état de celui-ci évolue pour les années d'inventaire ultérieures selon la fonction de survie S(a). Si l'on cherche à ajouter une année au parc :

$$n(t_0 + 1, g, e, c, a) \; = \; n_0(t_0, g, e, c, a_0 = 1) + n_0(t_0, g, e, c, a_0) \times \; S(a_0 + 1)$$

Pour simuler les nouvelles tonnes à lisier qui entrent dans le parc matériel une année donnée, on reproduit la dernière année d'achat du parc $n_0(t_0, g, e, c, a_0 = 1)$. Le parc historique $\boldsymbol{n_0}$ « vieillit » avec la fonction de survie ***S***. Ainsi le parc matériel tend progressivement vers 61 % de tonnes à lisier équipées d'un matériel moins émissif.

On pose ***V(g,e,c,a)*** la fonction de voyage héritée du Tableau 400 qui dépend du groupe d'épandage ***g*** (Cuma, Eta, en propre), de la catégorie de capacité ***c*** et de l'âge de la tonne à lisier ***a***. Pour les ETA et l'épandage avec matériel en propre, cette fonction dépend aussi du type d'équipement **e** car elle a été calibrée pour retrouver les volumes épandus en 2021 calculés par ailleurs. Pour chaque catégorie de capacité c on a une capacité moyenne ***K(c)*** exprimée en litres qui dépend du parc Cuma.

On peut estimer les volumes épandus selon le type d'équipement et l'année ***E (t, e)*** en $m^3$, en fonction du parc matériel, de la fonction de voyage et de la capacité moyenne des tonnes à lisier (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** pour les valeurs des Cuma pour 2021) :

$$E(t,e) = \sum_{g,c,a} \left\{ n(t,g,e,c,a) \times V(g,c,a) \times \frac{K(c)}{1000} \right\}$$

On a donc la possibilité de faire évoluer le volume d'épandage annuellement selon le type d'équipement (buse palette, pendillard, enfouisseur) à partir de 2021. On applique cette dynamique de parc uniquement pour les effluents hors méthanisation (Figure 255).

## Répartition des épandages par région, forme d'effluent et délai d'enfouissement

Le calcul des émissions présenté en section « Gestion des déjections animales - 3.B » nécessite un niveau de précision assez fin de la donnée d'activité sur les épandages d'effluents liquides. En effet, le facteur d'émission dépend de la teneur en TAN de l'effluent épandu, du matériel d'épandage ainsi que du délai d'enfouissement après épandage. Par ailleurs les calculs pour les effluents d'élevage sont réalisés au niveau des anciennes régions.

Les enquêtes pratiques culturales en grandes cultures nous fournissent une indication de la répartition régionale des épandages (en azote) par type de produit (lisier bovin, lisier porcin ou autre effluent liquide), matériel et délais d'enfouissement avec un pas de temps de 4 à 10 ans selon les années d'enquête (2001, 2011, 2017, 2021). A partir de 2021, les épandages par matériel sont connus annuellement à l'échelle nationale sur la base du modèle de parc précédemment décrit. On croise donc les informations de ce modèle annuel avec les données des enquêtes SSP.

Compte-tenu du niveau de résolution assez fin des données nécessaires au calcul d'émission, il n'est pas possible de mettre en cohérence stricte, pour chaque année, le modèle de parc, l'estimation régionale des excrétions azotées et les données d'enquête pratiques culturales. On réconcilie donc ces données par une série d'optimisations sous contraintes. Cela permet de faire évoluer annuellement les pratiques d'épandage en fonction des données inventaire (excrétions azotées, estimation des digestats de méthanisation), des données du modèle de parc (répartition nationale des épandages par matériel) tout en minimisant l'écart avec la répartition des épandages par région, matériel, espèce et délai d'épandage issue des enquêtes pratiques culturales.

Les étapes de calcul aboutissant à la donnée d'activité sur les épandages liquides sont synthétisées dans le schéma ci-dessous :

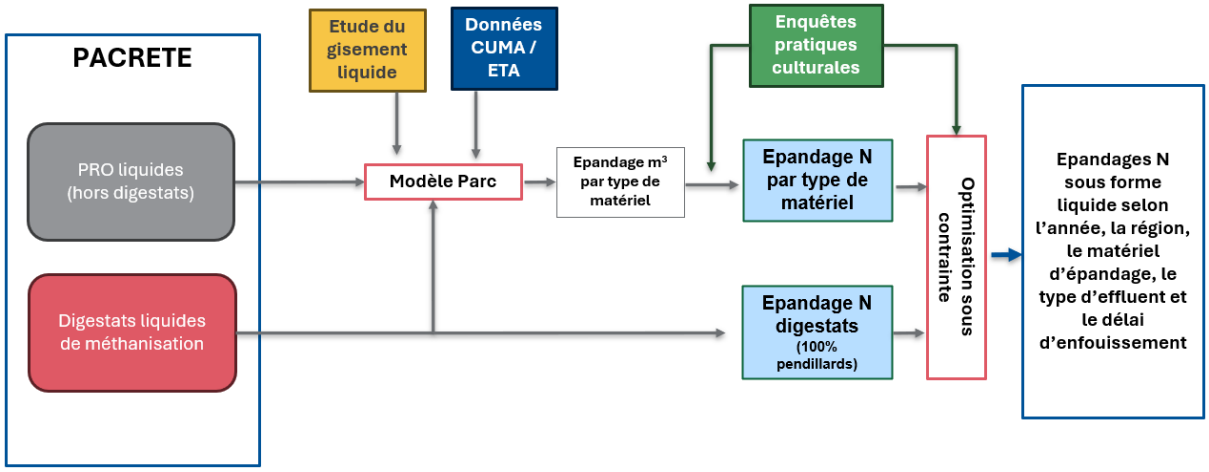



**Figure 257. Etapes de calcul pour estimer les modes d'épandages des effluents organiques liquides dans l'inventaire Citepa à partir de l'année 2021.**

**Tableau 403. Caractéristiques du parc de tonnes à lisier en Cuma en 2021. Source : FNCUMA**

| e : Type d'équipement | c : Catégorie de capacité (en litres) | a : Age (en années) | n : Nombre de tonnes à lisier | K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres | V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier | E : Volume épandu annuel de la catégorie en m³ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| buse_palette | < 12000 | 1 | 76 | 9 409 | 845 | 604 261 |
| buse_palette | < 12000 | 2 | 97 | 9 538 | 845 | 781 810 |
| buse_palette | < 12000 | 3 | 132 | 9 676 | 845 | 1 079 221 |
| buse_palette | < 12000 | 4 | 126 | 9 609 | 845 | 1 023 022 |
| buse_palette | < 12000 | 5 | 108 | 9 879 | 845 | 901 521 |
| buse_palette | < 12000 | 6 | 118 | 9 368 | 845 | 934 096 |
| buse_palette | < 12000 | 7 | 117 | 9 836 | 715 | 822 866 |
| buse_palette | < 12000 | 8 | 105 | 9 668 | 715 | 725 855 |
| buse_palette | < 12000 | 9 | 109 | 9 131 | 715 | 711 651 |
| buse_palette | < 12000 | 10 | 94 | 9 216 | 715 | 619 424 |
| buse_palette | < 12000 | 11 | 98 | 9 260 | 715 | 648 846 |
| buse_palette | < 12000 | 12 | 87 | 9 066 | 715 | 563 965 |
| buse_palette | < 12000 | 13 | 105 | 9 498 | 423 | 421 846 |
| buse_palette | < 12000 | 14 | 112 | 9 236 | 423 | 437 563 |
| buse_palette | < 12000 | 15 | 100 | 9 165 | 423 | 387 663 |
| buse_palette | < 12000 | 16 | 101 | 9 092 | 423 | 388 425 |
| buse_palette | < 12000 | 17 | 115 | 8 580 | 423 | 417 368 |
| buse_palette | < 12000 | 18 | 104 | 9 003 | 423 | 396 062 |
| buse_palette | < 12000 | 19 | 93 | 9 065 | 423 | 356 609 |
| buse_palette | < 12000 | 20 | 112 | 8 587 | 423 | 406 836 |
| buse_palette | < 12000 | 21 | 95 | 8 703 | 423 | 349 743 |
| buse_palette | < 12000 | 22 | 67 | 8 246 | 423 | 233 713 |
| buse_palette | < 12000 | 23 | 89 | 8 221 | 423 | 309 514 |
| buse_palette | < 12000 | 24 | 81 | 8 424 | 423 | 288 639 |
| buse_palette | < 12000 | 25 | 68 | 7 922 | 423 | 227 866 |
| buse_palette | < 12000 | 26 | 80 | 7 792 | 423 | 263 688 |
| buse_palette | < 12000 | 27 | 71 | 7 878 | 423 | 236 609 |
| buse_palette | < 12000 | 28 | 69 | 7 050 | 423 | 205 754 |
| buse_palette | < 12000 | 29 | 48 | 7 193 | 423 | 146 039 |
| buse_palette | < 12000 | 30 | 51 | 8 080 | 423 | 174 317 |
| buse_palette | < 12000 | 31 | 46 | 7 505 | 423 | 146 037 |
| buse_palette | < 12000 | 32 | 38 | 7 412 | 423 | 119 148 |
| buse_palette | > 21000 | 1 | 4 | 24 250 | 1581 | 153 357 |
| buse_palette | > 21000 | 2 | 2 | 42 200 | 1581 | 133 436 |
| buse_palette | > 21000 | 3 | 2 | 23 600 | 1581 | 74 623 |
| buse_palette | > 21000 | 5 | 1 | 21 400 | 1581 | 33 833 |
| buse_palette | > 21000 | 9 | 1 | 22 700 | 1273 | 28 897 |
| buse_palette | > 21000 | 10 | 2 | 23 000 | 1273 | 58 558 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 1 | 14 | 12 644 | 750 | 132 764 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 2 | 21 | 13 525 | 750 | 213 011 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 3 | 19 | 13 001 | 750 | 185 261 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 4 | 23 | 13 179 | 750 | 227 336 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 5 | 18 | 13 241 | 750 | 178 747 |

| e : Type d'équipement | c : Catégorie de capacité (en litres) | a : Age (en années) | n : Nombre de tonnes à lisier | K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres | V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier | E : Volume épandu annuel de la catégorie en $m^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| buse_palette | 12001 à 14000 | 6 | 18 | 13 226 | 750 | 178 546 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 7 | 19 | 13 302 | 630 | 159 226 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 8 | 20 | 13 290 | 630 | 167 454 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 9 | 25 | 13 295 | 630 | 209 402 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 10 | 15 | 13 163 | 630 | 124 389 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 11 | 16 | 13 650 | 630 | 137 592 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 12 | 31 | 13 313 | 630 | 260 001 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 13 | 22 | 13 495 | 436 | 129 448 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 14 | 20 | 13 409 | 436 | 116 929 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 15 | 7 | 13 014 | 436 | 39 720 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 16 | 11 | 13 518 | 436 | 64 833 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 17 | 12 | 13 242 | 436 | 69 280 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 18 | 11 | 13 314 | 436 | 63 852 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 19 | 8 | 12 938 | 436 | 45 126 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 20 | 9 | 12 707 | 436 | 49 862 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 21 | 10 | 12 689 | 436 | 55 326 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 22 | 6 | 12 883 | 436 | 33 703 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 23 | 7 | 12 837 | 436 | 39 178 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 24 | 2 | 13 397 | 436 | 11 682 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 25 | 4 | 12 650 | 436 | 22 062 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 26 | 3 | 12 931 | 436 | 16 914 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 27 | 1 | 14 000 | 436 | 6 104 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 29 | 1 | 12 500 | 436 | 5 450 |
| buse_palette | 12001 à 14000 | 30 | 1 | 12 600 | 436 | 5 494 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 1 | 42 | 15 911 | 814 | 543 968 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 2 | 43 | 15 938 | 814 | 557 865 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 3 | 51 | 15 962 | 814 | 662 630 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 4 | 58 | 15 943 | 814 | 752 724 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 5 | 55 | 15 958 | 814 | 714 433 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 6 | 81 | 15 942 | 814 | 1 051 111 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 7 | 85 | 15 865 | 692 | 933 171 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 8 | 69 | 15 791 | 692 | 754 003 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 9 | 46 | 15 965 | 692 | 508 205 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 10 | 59 | 15 530 | 692 | 634 041 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 11 | 40 | 15 587 | 692 | 431 456 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 12 | 43 | 15 566 | 692 | 463 169 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 13 | 33 | 15 621 | 456 | 235 059 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 14 | 35 | 15 623 | 456 | 249 341 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 15 | 12 | 15 475 | 456 | 84 679 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 16 | 11 | 15 298 | 456 | 76 736 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 17 | 7 | 15 371 | 456 | 49 066 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 18 | 4 | 15 400 | 456 | 28 090 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 19 | 3 | 14 633 | 456 | 20 018 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 20 | 11 | 15 482 | 456 | 77 657 |

| e : Type d'équipement | c : Catégorie de capacité (en litres) | a : Age (en années) | n : Nombre de tonnes à lisier | K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres | V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier | E : Volume épandu annuel de la catégorie en m³ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| buse_palette | 14001 à 17000 | 21 | 3 | 15 233 | 456 | 20 839 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 22 | 4 | 15 425 | 456 | 28 135 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 23 | 2 | 15 500 | 456 | 14 136 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 24 | 3 | 15 333 | 456 | 20 976 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 25 | 3 | 15 525 | 456 | 21 238 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 26 | 2 | 15 000 | 456 | 13 680 |
| buse_palette | 14001 à 17000 | 29 | 1 | 16 075 | 456 | 7 330 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 1 | 4 | 18 000 | 971 | 69 912 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 2 | 5 | 18 000 | 971 | 87 390 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 3 | 5 | 18 000 | 971 | 87 390 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 4 | 10 | 17 902 | 971 | 173 824 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 5 | 8 | 17 938 | 971 | 139 339 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 6 | 8 | 17 925 | 971 | 139 241 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 7 | 9 | 17 944 | 790 | 127 585 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 8 | 4 | 18 000 | 790 | 56 880 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 9 | 9 | 17 922 | 790 | 127 427 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 10 | 8 | 18 000 | 790 | 113 760 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 11 | 4 | 18 000 | 790 | 56 880 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 12 | 4 | 18 000 | 790 | 56 880 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 13 | 5 | 17 900 | 579 | 51 821 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 14 | 1 | 18 000 | 579 | 10 422 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 15 | 2 | 17 750 | 579 | 20 555 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 21 | 3 | 18 000 | 579 | 31 266 |
| buse_palette | 17001 à 18000 | 24 | 1 | 18 000 | 579 | 10 422 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 1 | 23 | 20 204 | 934 | 434 030 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 2 | 16 | 19 513 | 934 | 291 595 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 3 | 19 | 19 100 | 934 | 338 949 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 4 | 15 | 19 067 | 934 | 267 124 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 5 | 12 | 19 558 | 934 | 219 210 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 6 | 23 | 19 835 | 934 | 426 091 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 7 | 19 | 19 426 | 809 | 298 602 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 8 | 18 | 19 372 | 809 | 282 098 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 9 | 11 | 19 418 | 809 | 172 802 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 10 | 12 | 19 833 | 809 | 192 542 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 11 | 9 | 19 622 | 809 | 142 869 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 12 | 4 | 19 800 | 809 | 64 073 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 13 | 13 | 19 169 | 630 | 156 996 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 14 | 3 | 19 667 | 630 | 37 170 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 15 | 4 | 18 500 | 630 | 46 620 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 16 | 3 | 19 167 | 630 | 36 225 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 17 | 2 | 18 500 | 630 | 23 310 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 20 | 1 | 18 500 | 630 | 11 655 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 23 | 2 | 19 250 | 630 | 24 255 |
| buse_palette | 18001 à 21000 | 25 | 1 | 20 000 | 630 | 12 600 |

| e : Type d'équipement | c : Catégorie de capacité (en litres) | a : Age (en années) | n : Nombre de tonnes à lisier | K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres | V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier | E : Volume épandu annuel de la catégorie en $m^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| pendillard | < 12000 | 1 | 9 | 10 817 | 845 | 82 262 |
| pendillard | < 12000 | 2 | 5 | 11 439 | 845 | 48 332 |
| pendillard | < 12000 | 3 | 5 | 11 255 | 845 | 47 551 |
| pendillard | < 12000 | 4 | 8 | 10 118 | 845 | 68 400 |
| pendillard | < 12000 | 5 | 4 | 11 712 | 845 | 39 586 |
| pendillard | < 12000 | 6 | 5 | 11 385 | 845 | 48 100 |
| pendillard | < 12000 | 7 | 2 | 11 500 | 715 | 16 445 |
| pendillard | < 12000 | 8 | 1 | 7 759 | 715 | 5 548 |
| pendillard | < 12000 | 9 | 2 | 11 250 | 715 | 16 088 |
| pendillard | < 12000 | 12 | 1 | 6 000 | 715 | 4 290 |
| pendillard | < 12000 | 14 | 2 | 10 396 | 423 | 8 795 |
| pendillard | < 12000 | 16 | 3 | 7 433 | 423 | 9 433 |
| pendillard | < 12000 | 18 | 2 | 11 425 | 423 | 9 666 |
| pendillard | < 12000 | 19 | 2 | 9 175 | 423 | 7 762 |
| pendillard | < 12000 | 20 | 2 | 11 500 | 423 | 9 729 |
| pendillard | < 12000 | 21 | 1 | 1 150 | 423 | 486 |
| pendillard | < 12000 | 22 | 2 | 10 733 | 423 | 9 080 |
| pendillard | < 12000 | 24 | 1 | 10 000 | 423 | 4 230 |
| pendillard | > 21000 | 1 | 3 | 28 167 | 1581 | 133 595 |
| pendillard | > 21000 | 2 | 2 | 23 188 | 1581 | 73 319 |
| pendillard | > 21000 | 3 | 4 | 24 200 | 1581 | 153 041 |
| pendillard | > 21000 | 4 | 5 | 24 600 | 1581 | 194 463 |
| pendillard | > 21000 | 5 | 2 | 25 250 | 1581 | 79 841 |
| pendillard | > 21000 | 6 | 1 | 24 500 | 1581 | 38 735 |
| pendillard | > 21000 | 7 | 4 | 23 750 | 1273 | 120 935 |
| pendillard | > 21000 | 8 | 2 | 23 600 | 1273 | 60 086 |
| pendillard | > 21000 | 9 | 3 | 24 000 | 1273 | 91 656 |
| pendillard | > 21000 | 10 | 3 | 23 700 | 1273 | 90 510 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 1 | 4 | 12 591 | 750 | 37 772 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 2 | 2 | 13 500 | 750 | 20 250 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 3 | 6 | 13 392 | 750 | 60 264 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 4 | 3 | 12 802 | 750 | 28 804 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 5 | 1 | 12 600 | 750 | 9 450 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 6 | 2 | 14 000 | 750 | 21 000 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 7 | 1 | 14 000 | 630 | 8 820 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 8 | 3 | 14 000 | 630 | 26 460 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 9 | 3 | 13 067 | 630 | 24 696 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 11 | 1 | 12 006 | 630 | 7 564 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 12 | 1 | 12 788 | 630 | 8 056 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 14 | 1 | 12 788 | 436 | 5 575 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 17 | 2 | 12 975 | 436 | 11 314 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 19 | 2 | 12 925 | 436 | 11 271 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 20 | 1 | 13 250 | 436 | 5 777 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 21 | 1 | 12 852 | 436 | 5 603 |

| e : Type d'équipement | c : Catégorie de capacité (en litres) | a : Age (en années) | n : Nombre de tonnes à lisier | K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres | V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier | E : Volume épandu annuel de la catégorie en $m^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| pendillard | 12001 à 14000 | 23 | 1 | 12 500 | 436 | 5 450 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 24 | 1 | 13 250 | 436 | 5 777 |
| pendillard | 12001 à 14000 | 26 | 1 | 12 852 | 436 | 5 603 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 1 | 46 | 16 289 | 814 | 609 934 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 2 | 26 | 16 022 | 814 | 339 088 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 3 | 17 | 16 240 | 814 | 224 727 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 4 | 22 | 16 010 | 814 | 286 700 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 5 | 12 | 15 650 | 814 | 152 869 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 6 | 8 | 16 025 | 814 | 104 355 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 7 | 12 | 16 350 | 692 | 135 770 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 8 | 15 | 16 227 | 692 | 168 433 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 9 | 2 | 16 400 | 692 | 22 698 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 10 | 3 | 16 630 | 692 | 34 524 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 11 | 1 | 15 700 | 692 | 10 864 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 12 | 3 | 16 117 | 692 | 33 458 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 13 | 3 | 15 400 | 456 | 21 067 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 14 | 4 | 15 963 | 456 | 29 116 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 15 | 2 | 14 950 | 456 | 13 634 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 17 | 1 | 15 850 | 456 | 7 228 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 18 | 1 | 15 850 | 456 | 7 228 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 19 | 1 | 15 700 | 456 | 7 159 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 20 | 3 | 15 444 | 456 | 21 128 |
| pendillard | 14001 à 17000 | 21 | 1 | 16 700 | 456 | 7 615 |
| pendillard | 17001 à 18000 | 1 | 17 | 17 930 | 971 | 295 963 |
| pendillard | 17001 à 18000 | 2 | 15 | 17 993 | 971 | 262 067 |
| pendillard | 17001 à 18000 | 3 | 8 | 18 000 | 971 | 139 824 |
| pendillard | 17001 à 18000 | 4 | 7 | 17 878 | 971 | 121 517 |
| pendillard | 17001 à 18000 | 5 | 4 | 18 000 | 971 | 69 912 |
| pendillard | 17001 à 18000 | 6 | 5 | 18 000 | 971 | 87 390 |
| pendillard | 17001 à 18000 | 7 | 4 | 18 000 | 790 | 56 880 |
| pendillard | 17001 à 18000 | 8 | 4 | 18 000 | 790 | 56 880 |
| pendillard | 17001 à 18000 | 9 | 2 | 17 605 | 790 | 27 815 |
| pendillard | 17001 à 18000 | 10 | 2 | 17 927 | 790 | 28 325 |
| pendillard | 17001 à 18000 | 12 | 1 | 17 209 | 790 | 13 595 |
| pendillard | 17001 à 18000 | 21 | 1 | 18 000 | 579 | 10 422 |
| pendillard | 18001 à 21000 | 1 | 45 | 20 128 | 934 | 845 996 |
| pendillard | 18001 à 21000 | 2 | 34 | 19 424 | 934 | 616 814 |
| pendillard | 18001 à 21000 | 3 | 17 | 20 050 | 934 | 318 358 |
| pendillard | 18001 à 21000 | 4 | 13 | 19 619 | 934 | 238 217 |
| pendillard | 18001 à 21000 | 5 | 9 | 20 133 | 934 | 169 241 |
| pendillard | 18001 à 21000 | 6 | 11 | 19 592 | 934 | 201 286 |
| pendillard | 18001 à 21000 | 7 | 5 | 19 407 | 809 | 78 500 |
| pendillard | 18001 à 21000 | 8 | 5 | 18 800 | 809 | 76 046 |
| pendillard | 18001 à 21000 | 9 | 5 | 20 320 | 809 | 82 194 |

| e : Type d'équipement | c : Catégorie de capacité (en litres) | a : Age (en années) | n : Nombre de tonnes à lisier | K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres | V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier | E : Volume épandu annuel de la catégorie en $m^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| pendillard | 18001 à 21000 | 10 | 1 | 20 000 | 809 | 16 180 |
| pendillard | 18001 à 21000 | 12 | 2 | 20 350 | 809 | 32 926 |
| enfouisseur | < 12000 | 1 | 4 | 10 980 | 845 | 37 114 |
| enfouisseur | < 12000 | 2 | 3 | 10 033 | 845 | 25 434 |
| enfouisseur | < 12000 | 3 | 10 | 10 624 | 845 | 89 771 |
| enfouisseur | < 12000 | 4 | 5 | 9 956 | 845 | 42 062 |
| enfouisseur | < 12000 | 5 | 16 | 8 595 | 845 | 116 207 |
| enfouisseur | < 12000 | 6 | 12 | 9 973 | 845 | 101 126 |
| enfouisseur | < 12000 | 7 | 4 | 8 050 | 715 | 23 023 |
| enfouisseur | < 12000 | 8 | 4 | 11 213 | 715 | 32 068 |
| enfouisseur | < 12000 | 9 | 7 | 10 068 | 715 | 50 391 |
| enfouisseur | < 12000 | 10 | 1 | 11 400 | 715 | 8 151 |
| enfouisseur | < 12000 | 11 | 1 | 11 459 | 715 | 8 193 |
| enfouisseur | < 12000 | 12 | 3 | 11 462 | 715 | 24 586 |
| enfouisseur | < 12000 | 13 | 1 | 11 000 | 423 | 4 653 |
| enfouisseur | < 12000 | 14 | 1 | 11 500 | 423 | 4 865 |
| enfouisseur | < 12000 | 15 | 1 | 11 500 | 423 | 4 865 |
| enfouisseur | < 12000 | 18 | 2 | 10 950 | 423 | 9 264 |
| enfouisseur | < 12000 | 20 | 1 | 10 000 | 423 | 4 230 |
| enfouisseur | < 12000 | 21 | 2 | 10 500 | 423 | 8 883 |
| enfouisseur | < 12000 | 22 | 2 | 10 000 | 423 | 8 460 |
| enfouisseur | < 12000 | 23 | 2 | 10 750 | 423 | 9 095 |
| enfouisseur | < 12000 | 24 | 3 | 10 833 | 423 | 13 748 |
| enfouisseur | < 12000 | 25 | 2 | 10 000 | 423 | 8 460 |
| enfouisseur | < 12000 | 26 | 1 | 10 000 | 423 | 4 230 |
| enfouisseur | > 21000 | 1 | 3 | 24 833 | 1581 | 117 785 |
| enfouisseur | > 21000 | 3 | 3 | 25 333 | 1581 | 120 156 |
| enfouisseur | > 21000 | 7 | 1 | 25 000 | 1273 | 31 825 |
| enfouisseur | > 21000 | 22 | 1 | 22 000 | 990 | 21 780 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 3 | 3 | 13 591 | 750 | 30 579 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 4 | 3 | 13 233 | 750 | 29 775 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 5 | 4 | 13 192 | 750 | 39 576 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 10 | 2 | 13 300 | 630 | 16 758 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 11 | 1 | 13 600 | 630 | 8 568 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 14 | 3 | 13 335 | 436 | 17 443 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 15 | 1 | 13 473 | 436 | 5 874 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 16 | 3 | 13 313 | 436 | 17 414 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 18 | 3 | 13 244 | 436 | 17 324 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 19 | 2 | 13 370 | 436 | 11 658 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 20 | 2 | 13 267 | 436 | 11 569 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 21 | 1 | 13 267 | 436 | 5 784 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 22 | 2 | 13 370 | 436 | 11 658 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 23 | 5 | 13 418 | 436 | 29 252 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 24 | 1 | 13 267 | 436 | 5 784 |

| e : Type d'équipement | c : Catégorie de capacité (en litres) | a : Age (en années) | n : Nombre de tonnes à lisier | K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres | V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier | E : Volume épandu annuel de la catégorie en $m^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 25 | 1 | 13 473 | 436 | 5 874 |
| enfouisseur | 12001 à 14000 | 31 | 1 | 13 473 | 436 | 5 874 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 1 | 7 | 16 100 | 814 | 91 738 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 2 | 3 | 15 933 | 814 | 38 909 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 3 | 6 | 16 333 | 814 | 79 772 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 4 | 10 | 16 430 | 814 | 133 740 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 5 | 5 | 15 487 | 814 | 63 033 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 6 | 6 | 15 767 | 814 | 77 004 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 7 | 2 | 15 850 | 692 | 21 936 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 8 | 1 | 16 500 | 692 | 11 418 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 9 | 1 | 16 800 | 692 | 11 626 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 10 | 1 | 14 600 | 692 | 10 103 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 11 | 1 | 15 700 | 692 | 10 864 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 14 | 1 | 16 000 | 456 | 7 296 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 18 | 1 | 15 000 | 456 | 6 840 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 22 | 3 | 15 067 | 456 | 20 611 |
| enfouisseur | 14001 à 17000 | 23 | 1 | 15 000 | 456 | 6 840 |
| enfouisseur | 17001 à 18000 | 2 | 1 | 18 000 | 971 | 17 478 |
| enfouisseur | 17001 à 18000 | 3 | 1 | 18 000 | 971 | 17 478 |
| enfouisseur | 17001 à 18000 | 4 | 2 | 18 000 | 971 | 34 956 |
| enfouisseur | 18001 à 21000 | 1 | 9 | 19 964 | 934 | 167 820 |
| enfouisseur | 18001 à 21000 | 2 | 7 | 19 823 | 934 | 129 602 |
| enfouisseur | 18001 à 21000 | 3 | 6 | 20 000 | 934 | 112 080 |
| enfouisseur | 18001 à 21000 | 5 | 2 | 19 767 | 934 | 36 924 |
| enfouisseur | 18001 à 21000 | 6 | 2 | 19 306 | 934 | 36 063 |
| enfouisseur | 18001 à 21000 | 7 | 1 | 20 700 | 809 | 16 746 |
| enfouisseur | 18001 à 21000 | 13 | 1 | 20 700 | 630 | 13 041 |
| enfouisseur | 18001 à 21000 | 23 | 1 | 20 700 | 630 | 13 041 |
| enfouisseur | 18001 à 21000 | 28 | 1 | 20 700 | 630 | 13 041 |

# Estimation des quantités de matière sèche des résidus de culture

| | |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |

**Tableau 405 : Évolutions des productions de céréales et oléagineux (kt) – Métropole**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

**Tableau 406 : Évolutions des productions de protéagineux, tubercules, fourrages et herbe (kt) – Métropole**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

# Annexe 6

## Résultats pour la France, selon le périmètre France UE (métropole et territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE) et le périmètre France entière (métropole et tous les territoires d'Outre-mer)

Cette annexe contient la table « Summary 2 » pour l'année 1990 (année de référence), l'année 2022 (année de comparaison avec l'édition précédente) et l'année 2023 (dernière année de l'exercice courant).

L'intégralité des tables CRT au titre de la Convention sont disponibles en format électronique sur le site de la CCNUCC.

**Les résultats suivants concernent la France selon le périmètre France UE, couverture géographique comprenant la Métropole et les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE.**

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR $CO_2$ EQUIVALENT EMISSIONS**
**(Sheet 1 of 1)**

1990
FRA-CRT-2025-V0.2
France

| GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES | $CO_2$ [1] | $CH_4$ | $N_2O$ | HFCs | PFCs | Unspecified mix of HFCs and PFCs | $SF_6$ | $NF_3$ | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ equivalents (kt) [2] | | | | | | | | |
| **Total (net emissions)** [1] | **373 086.35** | **82 512.18** | **55 793.43** | **4 226.21** | **4 684.56** | **NO** | **2 232.65** | **15.43** | **522 550.80** |
| **1. Energy** | **351 597.72** | **13 961.39** | **3 024.67** | | | | | | **368 583.78** |
| 1.A. Fuel combustion | 347 236.18 | 6 556.46 | 3 001.22 | | | | | | 356 793.86 |
| 1.A.1. Energy industries | 65 821.99 | 82.83 | 398.74 | | | | | | 66 303.56 |
| 1.A.2. Manufacturing industries and constructio | 63 811.93 | 108.46 | 424.70 | | | | | | 64 345.09 |
| 1.A.3. Transport | 121 247.24 | 1 138.77 | 838.02 | | | | | | 123 224.03 |
| 1.A.4. Other sectors | 91 890.78 | 5 222.82 | 1 308.49 | | | | | | 98 422.09 |
| 1.A.5. Other | 4 464.25 | 3.58 | 31.27 | | | | | | 4 499.09 |
| 1.B. Fugitive emissions from fuels | 4 361.54 | 7 404.93 | 23.45 | | | | | | 11 789.92 |
| 1.B.1. Solid fuels | NA,NO | 5 387.47 | NE,NO | | | | | | 5 387.47 |
| 1.B.2. Oil and natural gas and other emissions from energy production | 4 361.54 | 2 017.46 | 23.45 | | | | | | 6 402.45 |
| 1.C. $CO_2$ transport and storage | NO | | | | | | | | NO |
| **2. Industrial processes and product use** | **42 539.40** | **284.93** | **21 298.99** | **4 226.21** | **4 684.56** | **NO** | **2 232.65** | **15.43** | **75 282.15** |
| 2.A. Mineral industry | 14 938.79 | NO | NO | | | | | | 14 938.79 |
| 2.B. Chemical industry | 8 864.56 | 125.44 | 21 186.89 | 4 202.29 | 1 084.13 | NO | 133.95 | NO | 35 597.26 |
| 2.C. Metal industry | 17 679.07 | 157.77 | NO | | 3 210.98 | | 742.71 | | 21 790.53 |
| 2.D. Non-energy products from fuels and solvent use | 1 027.13 | 1.72 | 1.23 | | | | | | 1 030.08 |
| 2.E. Electronic Industry | | | NO | 23.92 | 183.51 | NO | 57.23 | 15.43 | 280.08 |
| 2.F. Product uses as ODS substitutes | | | | IE,NO | | | | | IE,NO |
| 2.G. Other product manufacture and use | 29.81 | NO | 110.86 | NO | 205.94 | | 1 298.76 | | 1 645.38 |
| 2.H. Other | 0.04 | NA,NO | NA,NO | NO | NO | NO | NO | NO | 0.04 |
| **3. Agriculture** | **1 904.74** | **53 694.12** | **26 893.50** | | | | | | **82 492.36** |
| 3.A. Enteric fermentation | | 46 749.65 | | | | | | | 46 749.65 |
| 3.B. Manure management | | 6 791.21 | 3 854.17 | | | | | | 10 645.38 |
| 3.C. Rice cultivation | | 76.47 | | | | | | | 76.47 |
| 3.D. Agricultural soils | | | 23 020.49 | | | | | | 23 020.49 |
| 3.E. Prescribed burning of savannahs | | NO | NO | | | | | | NO |
| 3.F. Field burning of agricultural residues | | 76.79 | 18.84 | | | | | | 95.63 |
| 3.G. Liming | 915.32 | | | | | | | | 915.32 |
| 3.H. Urea application | 864.51 | | | | | | | | 864.51 |
| 3.I. Other carbon-containing fertilizers | 124.90 | | | | | | | | 124.90 |
| 3.J. Other | NO | NO | NO | | | | | | NO |
| **4. Land use, land-use change and forestry** [1] | **-25 065.74** | **635.89** | **2 065.55** | | | | | | **-22 364.30** |
| 4.A. Forest land | -45 533.42 | 182.02 | 92.07 | | | | | | -45 259.33 |
| 4.B. Cropland | 27 396.27 | 196.30 | 1 724.50 | | | | | | 29 317.07 |
| 4.C. Grassland | -5 977.57 | 209.60 | 62.86 | | | | | | -5 705.10 |
| 4.D. Wetlands | 466.03 | 5.89 | 2.24 | | | | | | 474.16 |
| 4.E. Settlements | 3 915.85 | 41.93 | 181.61 | | | | | | 4 139.39 |
| 4.F. Other land | 34.65 | 0.14 | 2.27 | | | | | | 37.06 |
| 4.G. Harvested wood products | -5 367.55 | | | | | | | | -5 367.55 |
| 4.H. Other | NO | NO | | | | | | | NO |
| **5. Waste** | **2 110.24** | **13 935.85** | **2 510.72** | | | | | | **18 556.81** |
| 5.A. Solid waste disposal | | 12 456.92 | | | | | | | 12 456.92 |
| 5.B. Biological treatment of solid waste | | 112.31 | 60.89 | | | | | | 173.19 |
| 5.C. Incineration and open burning of waste | 2 110.24 | 53.68 | 150.61 | | | | | | 2 314.53 |
| 5.D. Waste water treatment and discharge | | 1 312.94 | 2 299.22 | | | | | | 3 612.16 |
| 5.E. Other | NO | NO | NO | | | | | | NO |
| **6. Other** *(as specified in summary 1)* | | | | | | | | | |

| **Memo items:** [3] | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.D.1. International bunkers** | 16 116.85 | 21.69 | 113.64 | | | | | | 16 252.18 |
| 1.D.1.a. Aviation | 9 353.93 | 4.61 | 67.46 | | | | | | 9 425.99 |
| 1.D.1.b. Navigation | 6 762.93 | 17.08 | 46.18 | | | | | | 6 826.18 |
| **1.D.2. Multilateral operations** | 0.67 | NE | NE | | | | | | 0.67 |
| **1.D.3. $CO_2$ emissions from biomass** | 44 062.64 | | | | | | | | 44 062.64 |
| **1.D.4. $CO_2$ captured** | NO | | | | | | | | NO |
| **5.F.1. Long-term storage of C in waste disposal sites** | NE | | | | | | | | NE |
| **Indirect $N_2O$** | | | NE,NO | | | | | | |

| **Indirect $CO_2$** [4] | 1 658.65 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | |
|---|---|
| **Total $CO_2$ equivalent emissions without LULUCF** | **544 915.09** |
| **Total $CO_2$ equivalent emissions with LULUCF** | **522 550.80** |
| **Total $CO_2$ equivalent emissions, including indirect $CO_2$, without LULUCF** | **546 573.75** |
| **Total $CO_2$ equivalent emissions, including indirect $CO_2$, with LULUCF** | **524 209.45** |

## SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR $CO_2$ EQUIVALENT EMISSIONS
**(Sheet 1 of 1)**

2022
FRA-CRT-2025-V0.2
France

| GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES | $CO_2$ [1] | $CH_4$ | $N_2O$ | HFCs | PFCs | Unspecified mix of HFCs and PFCs | $SF_6$ | $NF_3$ | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ equivalents (kt) [2] | | | | | | | | |
| **Total (net emissions)** [1] | **268 418.05** | **62 341.12** | **27 897.64** | **9 156.70** | **322.71** | **NO** | **469.47** | **12.98** | **368 618.67** |
| **1. Energy** | **272 740.58** | **3 308.20** | **3 076.50** | | | | | | **279 125.28** |
| 1.A. Fuel combustion | 271 102.29 | 2 430.73 | 3 069.92 | | | | | | 276 602.95 |
| 1.A.1. Energy industries | 40 659.44 | 62.57 | 200.29 | | | | | | 40 922.30 |
| 1.A.2. Manufacturing industries and constructic | 38 425.86 | 131.17 | 498.03 | | | | | | 39 055.06 |
| 1.A.3. Transport | 127 301.06 | 163.14 | 1 170.59 | | | | | | 128 634.79 |
| 1.A.4. Other sectors | 62 749.65 | 2 071.13 | 1 190.03 | | | | | | 66 010.81 |
| 1.A.5. Other | 1 966.28 | 2.72 | 10.99 | | | | | | 1 980.00 |
| 1.B. Fugitive emissions from fuels | 1 638.29 | 877.47 | 6.58 | | | | | | 2 522.34 |
| 1.B.1. Solid fuels | NA,NO | 11.43 | NE,NO | | | | | | 11.43 |
| 1.B.2. Oil and natural gas and other emissions from energy production | 1 638.29 | 866.04 | 6.58 | | | | | | 2 510.90 |
| 1.C. $CO_2$ transport and storage | NO | | | | | | | | NO |
| **2. Industrial processes and product use** | **27 724.10** | **59.94** | **511.12** | **9 156.70** | **322.71** | **NO** | **469.47** | **12.98** | **38 257.01** |
| 2.A. Mineral industry | 9 262.14 | NO | NO | | | | | | 9 262.14 |
| 2.B. Chemical industry | 5 762.24 | 34.89 | 375.27 | 25.79 | NO | NO | 117.90 | NO | 6 316.09 |
| 2.C. Metal industry | 11 567.26 | 24.74 | NO | | 32.54 | | 4.09 | | 11 628.62 |
| 2.D. Non-energy products from fuels and solvent use | 1 124.52 | 0.31 | 2.21 | | | | | | 1 127.03 |
| 2.E. Electronic Industry | | | NO | 2.27 | 67.03 | NO | 4.53 | 12.98 | 86.82 |
| 2.F. Product uses as ODS substitutes | | | | 9 127.51 | | | | | 9 127.51 |
| 2.G. Other product manufacture and use | 7.81 | NO | 133.64 | 1.12 | 223.13 | | 342.96 | | 708.67 |
| 2.H. Other | 0.13 | NA,NO | NA,NO | NO | NO | NO | NO | NO | 0.13 |
| **3. Agriculture** | **1 924.67** | **44 140.07** | **20 791.90** | | | | | | **66 856.64** |
| 3.A. Enteric fermentation | | 37 360.61 | | | | | | | 37 360.61 |
| 3.B. Manure management | | 6 722.07 | 2 838.23 | | | | | | 9 560.30 |
| 3.C. Rice cultivation | | 42.92 | | | | | | | 42.92 |
| 3.D. Agricultural soils | | | 17 950.12 | | | | | | 17 950.12 |
| 3.E. Prescribed burning of savannahs | | NO | NO | | | | | | NO |
| 3.F. Field burning of agricultural residues | | 14.47 | 3.55 | | | | | | 18.02 |
| 3.G. Liming | 806.70 | | | | | | | | 806.70 |
| 3.H. Urea application | 954.76 | | | | | | | | 954.76 |
| 3.I. Other carbon-containing fertilizers | 163.21 | | | | | | | | 163.21 |
| 3.J. Other | NO | NO | NO | | | | | | NO |
| **4. Land use, land-use change and forestry** [1] | **-35 598.95** | **780.11** | **848.40** | | | | | | **-33 970.44** |
| 4.A. Forest land | -46 577.56 | 181.28 | 94.37 | | | | | | -46 301.90 |
| 4.B. Cropland | 11 682.07 | 177.58 | 475.40 | | | | | | 12 335.05 |
| 4.C. Grassland | -4 624.10 | 131.31 | 56.29 | | | | | | -4 436.50 |
| 4.D. Wetlands | 590.37 | 6.35 | 28.88 | | | | | | 625.60 |
| 4.E. Settlements | 4 523.99 | 39.53 | 190.30 | | | | | | 4 753.82 |
| 4.F. Other land | 38.53 | 0.04 | 3.16 | | | | | | 41.74 |
| 4.G. Harvested wood products | -1 262.55 | | | | | | | | -1 262.55 |
| 4.H. Other | 30.29 | 244.01 | | | | | | | 274.30 |
| **5. Waste** | **1 627.64** | **14 052.81** | **2 669.73** | | | | | | **18 350.18** |
| 5.A. Solid waste disposal | | 11 462.00 | | | | | | | 11 462.00 |
| 5.B. Biological treatment of solid waste | | 654.04 | 177.76 | | | | | | 831.80 |
| 5.C. Incineration and open burning of waste | 1 627.64 | 63.17 | 71.03 | | | | | | 1 761.84 |
| 5.D. Waste water treatment and discharge | | 1 873.60 | 2 420.93 | | | | | | 4 294.54 |
| 5.E. Other | NO | NO | NO | | | | | | NO |
| **6. Other** *(as specified in summary 1)* | | | | | | | | | |

| **Memo items:** [3] | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.D.1. International bunkers** | 17 978.56 | 10.85 | 128.33 | | | | | | 18 117.75 |
| 1.D.1.a. Aviation | 14 270.50 | 1.49 | 103.01 | | | | | | 14 374.99 |
| 1.D.1.b. Navigation | 3 708.06 | 9.37 | 25.33 | | | | | | 3 742.76 |
| **1.D.2. Multilateral operations** | 0.77 | NE | NE | | | | | | 0.77 |
| **1.D.3. $CO_2$ emissions from biomass** | 65 242.29 | | | | | | | | 65 242.29 |
| **1.D.4. $CO_2$ captured** | NO | | | | | | | | NO |
| **5.F.1. Long-term storage of C in waste disposal sites** | NE | | | | | | | | NE |
| **Indirect $N_2O$** | | | NE,NO | | | | | | |

| **Indirect $CO_2$** [4] | 855.82 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | |
|---|---|
| **Total $CO_2$ equivalent emissions without LULUCF** | **402 589.12** |
| **Total $CO_2$ equivalent emissions with LULUCF** | **368 618.67** |
| **Total $CO_2$ equivalent emissions, including indirect $CO_2$, without LULUCF** | **403 444.94** |
| **Total $CO_2$ equivalent emissions, including indirect $CO_2$, with LULUCF** | **369 474.49** |

## SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR $CO_2$ EQUIVALENT EMISSIONS
**(Sheet 1 of 1)**

2023
FRA-CRT-2025-V0.2
France

| GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES | $CO_2$ [1] | $CH_4$ | $N_2O$ | HFCs | PFCs | Unspecified mix of HFCs and PFCs | $SF_6$ | $NF_3$ | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ equivalents (kt) [2] | | | | | | | | |
| **Total (net emissions)** [1] | **240 053.72** | **61 411.19** | **27 749.23** | **8 391.47** | **218.53** | **NO** | **380.73** | **11.62** | **338 216.49** |
| **1. Energy** | **250 807.46** | **3 106.90** | **2 986.36** | | | | | | **256 900.73** |
| 1.A. Fuel combustion | 249 184.62 | 2 299.17 | 2 979.23 | | | | | | 254 463.02 |
| 1.A.1. Energy industries | 33 775.83 | 57.73 | 183.69 | | | | | | 34 017.25 |
| 1.A.2. Manufacturing industries and construction | 35 321.72 | 126.57 | 486.37 | | | | | | 35 934.65 |
| 1.A.3. Transport | 122 158.13 | 163.27 | 1 109.15 | | | | | | 123 430.54 |
| 1.A.4. Other sectors | 55 826.21 | 1 948.53 | 1 188.98 | | | | | | 58 963.72 |
| 1.A.5. Other | 2 102.74 | 3.07 | 11.06 | | | | | | 2 116.87 |
| 1.B. Fugitive emissions from fuels | 1 622.85 | 807.73 | 7.13 | | | | | | 2 437.71 |
| 1.B.1. Solid fuels | NA,NO | 11.94 | NE,NO | | | | | | 11.94 |
| 1.B.2. Oil and natural gas and other emissions from energy production | 1 622.85 | 795.79 | 7.13 | | | | | | 2 425.76 |
| 1.C. $CO_2$ transport and storage | NO | | | | | | | | NO |
| **2. Industrial processes and product use** | **24 637.65** | **52.14** | **410.58** | **8 391.47** | **218.53** | **NO** | **380.73** | **11.62** | **34 102.73** |
| 2.A. Mineral industry | 8 396.52 | NO | NO | | | | | | 8 396.52 |
| 2.B. Chemical industry | 5 868.69 | 31.43 | 276.94 | 19.14 | NO | NO | 70.31 | NO | 6 266.52 |
| 2.C. Metal industry | 9 432.67 | 20.41 | NO | | 20.18 | | 1.97 | | 9 475.23 |
| 2.D. Non-energy products from fuels and solvent use | 936.91 | 0.31 | 2.09 | | | | | | 939.30 |
| 2.E. Electronic Industry | | | NO | 1.01 | 36.71 | NO | 4.29 | 11.62 | 53.64 |
| 2.F. Product uses as ODS substitutes | | | | 8 370.18 | | | | | 8 370.18 |
| 2.G. Other product manufacture and use | 2.76 | NO | 131.55 | 1.14 | 161.64 | | 304.15 | | 601.25 |
| 2.H. Other | 0.09 | NA,NO | NA,NO | NO | NO | NO | NO | NO | 0.09 |
| **3. Agriculture** | **2 121.70** | **43 328.51** | **20 940.87** | | | | | | **66 391.08** |
| 3.A. Enteric fermentation | | 36 841.49 | | | | | | | 36 841.49 |
| 3.B. Manure management | | 6 428.04 | 2 769.55 | | | | | | 9 197.58 |
| 3.C. Rice cultivation | | 44.23 | | | | | | | 44.23 |
| 3.D. Agricultural soils | | | 18 167.70 | | | | | | 18 167.70 |
| 3.E. Prescribed burning of savannahs | | NO | NO | | | | | | NO |
| 3.F. Field burning of agricultural residues | | 14.75 | 3.62 | | | | | | 18.37 |
| 3.G. Liming | 885.08 | | | | | | | | 885.08 |
| 3.H. Urea application | 1 091.63 | | | | | | | | 1 091.63 |
| 3.I. Other carbon-containing fertilizers | 144.99 | | | | | | | | 144.99 |
| 3.J. Other | NO | NO | NO | | | | | | NO |
| **4. Land use, land-use change and forestry** [1] | **-38 853.64** | **665.06** | **808.03** | | | | | | **-37 380.55** |
| 4.A. Forest land | -51 135.82 | 59.37 | 30.50 | | | | | | -51 045.95 |
| 4.B. Cropland | 11 780.57 | 179.61 | 476.78 | | | | | | 12 436.96 |
| 4.C. Grassland | -4 429.91 | 135.90 | 56.97 | | | | | | -4 237.04 |
| 4.D. Wetlands | 584.98 | 6.55 | 28.03 | | | | | | 619.56 |
| 4.E. Settlements | 4 764.64 | 39.62 | 212.65 | | | | | | 5 016.91 |
| 4.F. Other land | 41.01 | 0.08 | 3.10 | | | | | | 44.20 |
| 4.G. Harvested wood products | -485.54 | | | | | | | | -485.54 |
| 4.H. Other | 26.42 | 243.94 | | | | | | | 270.35 |
| **5. Waste** | **1 340.54** | **14 258.57** | **2 603.39** | | | | | | **18 202.50** |
| 5.A. Solid waste disposal | | 11 667.21 | | | | | | | 11 667.21 |
| 5.B. Biological treatment of solid waste | | 654.10 | 178.33 | | | | | | 832.43 |
| 5.C. Incineration and open burning of waste | 1 340.54 | 63.13 | 70.50 | | | | | | 1 474.18 |
| 5.D. Waste water treatment and discharge | | 1 874.13 | 2 354.56 | | | | | | 4 228.69 |
| 5.E. Other | NO | NO | NO | | | | | | NO |
| **6. Other** *(as specified in summary 1)* | | | | | | | | | |

| **Memo items:** [3] | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.D.1. International bunkers** | 19 853.89 | 10.09 | 141.99 | | | | | | 20 005.97 |
| 1.D.1.a. Aviation | 16 479.05 | 1.56 | 118.94 | | | | | | 16 599.56 |
| 1.D.1.b. Navigation | 3 374.84 | 8.52 | 23.05 | | | | | | 3 406.41 |
| **1.D.2. Multilateral operations** | 0.48 | NE | NE | | | | | | 0.48 |
| **1.D.3. $CO_2$ emissions from biomass** | 67 332.78 | | | | | | | | 67 332.78 |
| **1.D.4. $CO_2$ captured** | NO | | | | | | | | NO |
| **5.F.1. Long-term storage of C in waste disposal sites** | | | | | | | | | |
| **Indirect $N_2O$** | | | NE,NO | | | | | | |

| **Indirect $CO_2$** [4] | 799.84 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | |
|---|---|
| **Total $CO_2$ equivalent emissions without LULUCF** | **375 597.05** |
| **Total $CO_2$ equivalent emissions with LULUCF** | **338 216.49** |
| **Total $CO_2$ equivalent emissions, including indirect $CO_2$, without LULUCF** | **376 396.88** |
| **Total $CO_2$ equivalent emissions, including indirect $CO_2$, with LULUCF** | **339 016.33** |

(1) For $CO_2$ from LULUCF, the net emissions/removals are to be reported. For reporting purposes, the signs are always negative (-) for removals and positive (+) for emissions .

(2) As per decision 18/CMA.1, annex, para. 37, each Party shall use the 100-year time-horizon GWP values from the IPCC Fifth Assessment Report, or 100-year time-horizon GWP values from a subsequent IPCC assessment report as agreed upon by the CMA, to report aggregate emissions and removals of GHGs, expressed in $CO_2$ eq. Each Party may in addition also use other metrics (e.g. global temperature potential) to report supplemental information on aggregate emissions and removals of GHGs, expressed in $CO_2$ eq. In such cases, the Party shall provide in the national inventory document information on the values of the metrics used and the IPCC assessment report they were sourced from.

(3) Parties are asked to report emissions from international aviation and international navigation and multilateral operations, as well as $CO_2$ emissions from biomass and $CO_2$ captured, under memo items. These emissions should not be included in the national total emissions from the energy sector. Amounts of biomass used as fuel are included in the national energy consumption but the corresponding $CO_2$ emissions are not included in the national total as it is assumed that the biomass is produced in a sustainable manner. If the biomass is harvested at an unsustainable rate, net $CO_2$ emissions are accounted for as a loss of biomass stocks in the Land Use, Land-use Change and Forestry sector.

(4) In accordance with the modalities, procedures and guidelines (chapter II), for Parties that decide to report indirect $CO_2$, the national totals shall be provided with and without indirect $CO_2$.

# Annexe 7

## Impact par grands secteurs des modifications intervenues depuis la soumission de mars 2024

Les recalculs détaillés sont disponibles dans chaque chapitre sectoriel (chapitres 3 à 9). Les comparaisons sont réalisées entre la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025. Ainsi, des différences peuvent exister entre les résultats indiqués dans les tables 8 du CRT qui comparent deux éditions successives des tables CRT (pouvant contenir, par exemple, des modifications engendrées par un Saturday Paper identifié lors d'une revue annuelle). Des tableaux agrégés par grand secteur CRT et par substance sont présentés ci-dessous. Les impacts des recalculs au niveau CRT le plus fin de l'inventaire sont disponibles en annexe électronique pour toutes les années de l'inventaire (cf. fichier « Recalculs-d.xlsm »).

L'édition de mars 2024 est la première édition permettant une comparaison de deux éditions en PRG de l'AR5.

**Tableau 407 : Modifications intervenues dans le secteur de l'énergie (CRT 1) entre la mise à jour de la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025 (Périmètre France UE)**

| OLD | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO2 | kt | 350 327 | 348 404 | 368 520 | 379 884 | 349 189 | 327 163 | 331 225 | 331 377 | 299 501 | 305 995 | 308 694 | 310 185 | 295 384 | 289 438 | 258 324 | 279 698 | 270 463 |
| CH4 | kt | 497 | 476 | 324 | 247 | 207 | 171 | 175 | 174 | 144 | 145 | 150 | 141 | 132 | 127 | 108 | 113 | 99 |
| N2O | kt | 11 | 13 | 13 | 14 | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| HFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unspecified mix of HFCs and PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SF6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NF3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOx | kt | 2 013 | 1 850 | 1 685 | 1 500 | 1 139 | 1 077 | 1 047 | 1 028 | 927 | 893 | 842 | 813 | 762 | 708 | 594 | 623 | 586 |
| CO | kt | 9 949 | 7 894 | 5 916 | 4 758 | 3 658 | 3 045 | 3 058 | 3 081 | 2 646 | 2 663 | 2 735 | 2 619 | 2 475 | 2 401 | 2 077 | 2 249 | 2 054 |
| NMVOC | kt | 1 753 | 1 418 | 1 052 | 823 | 587 | 475 | 477 | 466 | 387 | 386 | 386 | 361 | 335 | 319 | 267 | 280 | 244 |
| SO2 | kt | 1 280 | 939 | 617 | 465 | 277 | 230 | 229 | 210 | 164 | 157 | 140 | 136 | 130 | 105 | 95 | 106 | 93 |
| NH3 | kt | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| NEW | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO2 | kt | 351 598 | 349 593 | 369 865 | 380 496 | 350 040 | 328 137 | 333 121 | 332 924 | 300 717 | 306 898 | 310 266 | 311 744 | 296 859 | 291 010 | 259 630 | 281 733 | 272 741 |
| CH4 | kt | 499 | 477 | 324 | 247 | 221 | 186 | 197 | 202 | 166 | 169 | 173 | 161 | 152 | 147 | 125 | 133 | 118 |
| N2O | kt | 11 | 13 | 13 | 14 | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| HFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unspecified mix of HFCs and PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SF6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NF3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOx | kt | 1 976 | 1 832 | 1 684 | 1 477 | 1 144 | 1 085 | 1 057 | 1 035 | 933 | 898 | 848 | 815 | 761 | 700 | 594 | 631 | 600 |
| CO | kt | 9 403 | 7 502 | 5 622 | 4 465 | 3 557 | 2 991 | 3 022 | 3 057 | 2 617 | 2 614 | 2 671 | 2 526 | 2 376 | 2 295 | 1 977 | 2 142 | 1 952 |
| NMVOC | kt | 1 683 | 1 356 | 1 005 | 766 | 595 | 494 | 513 | 516 | 428 | 426 | 424 | 390 | 362 | 345 | 289 | 305 | 265 |
| SO2 | kt | 1 296 | 952 | 627 | 469 | 278 | 235 | 236 | 217 | 166 | 159 | 140 | 134 | 129 | 105 | 90 | 97 | 89 |
| NH3 | kt | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 367 268 | 365 264 | 381 022 | 390 505 | 358 248 | 335 138 | 339 435 | 339 661 | 306 850 | 313 461 | 316 286 | 317 493 | 302 334 | 296 172 | 264 348 | 285 964 | 276 345 |
| Nouveau | kt CO2e | 368 584 | 366 505 | 382 392 | 391 121 | 359 479 | 336 546 | 341 946 | 341 985 | 308 703 | 315 003 | 318 500 | 319 615 | 304 359 | 298 319 | 266 172 | 288 607 | 279 125 |
| Différence | kt CO2e | +1 315 | +1 241 | +1 370 | +616 | +1 231 | +1 408 | +2 510 | +2 324 | +1 853 | +1 543 | +2 214 | +2 121 | +2 024 | +2 147 | +1 824 | +2 643 | +2 780 |
| | % | +0.4% | +0.3% | +0.4% | +0.2% | +0.3% | +0.4% | +0.7% | +0.7% | +0.6% | +0.5% | +0.7% | +0.7% | +0.7% | +0.7% | +0.7% | +0.9% | +1.0% |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /1. Energy

**Tableau 408 : Modifications intervenues dans le secteur des procédés industriels (CRT 2) entre la mise à jour de la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025 (Périmètre France UE)**

| OLD | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO2 | kt | 42 540 | 39 724 | 41 751 | 41 554 | 33 718 | 33 462 | 31 397 | 33 477 | 33 092 | 31 639 | 31 849 | 33 219 | 32 709 | 31 784 | 27 553 | 31 357 | 28 607 |
| CH4 | kt | 10 | 10 | 11 | 8 | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| N2O | kt | 80 | 87 | 40 | 23 | 8 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 6 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| HFCs | t CO2 equ | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### |
| PFCs | t CO2 equ | ###### | ###### | ###### | ###### | 539 724 | 675 882 | 687 857 | 581 638 | 534 531 | 465 408 | 580 189 | 612 625 | 585 737 | 533 339 | 471 589 | 390 184 | 316 722 |
| Unspecified | t CO2 equ | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO |
| SF6 | t | 95 | 109 | 96 | 59 | 42 | 32 | 33 | 30 | 26 | 27 | 28 | 26 | 25 | 23 | 22 | 23 | 20 |
| NF3 | t | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| NOx | kt | 23 | 14 | 13 | 10 | 6 | 5 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 |
| CO | kt | 764 | 1 135 | 800 | 972 | 1 028 | 806 | 537 | 581 | 412 | 399 | 396 | 433 | 420 | 426 | 338 | 376 | 346 |
| NMVOC | kt | 753 | 672 | 674 | 555 | 459 | 445 | 409 | 407 | 423 | 392 | 387 | 407 | 388 | 381 | 398 | 402 | 406 |
| SO2 | kt | 29 | 22 | 25 | 18 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 12 | 11 | 10 | 9 | 9 | 10 | 8 |
| NH3 | kt | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| NEW | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO2 | kt | 44 198 | 39 722 | 41 748 | 41 548 | 33 715 | 33 460 | 31 395 | 33 476 | 33 092 | 31 638 | 31 849 | 33 217 | 32 700 | 31 825 | 27 558 | 31 299 | 28 580 |
| CH4 | kt | 10 | 10 | 11 | 8 | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| N2O | kt | 80 | 86 | 40 | 23 | 8 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 6 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| HFCs | O2 equival | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### | ###### |
| PFCs | O2 equival | ###### | ###### | ###### | ###### | 539 724 | 675 882 | 687 857 | 581 638 | 534 531 | 465 408 | 580 189 | 612 625 | 590 233 | 538 118 | 471 589 | 390 184 | 322 706 |
| Unspecified | O2 equival | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| SF6 | t | 95 | 109 | 96 | 59 | 41 | 32 | 32 | 30 | 26 | 27 | 28 | 26 | 25 | 23 | 22 | 23 | 20 |
| NF3 | t | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NOx | kt | 26 | 16 | 16 | 14 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 5 |
| CO | kt | 765 | 1 137 | 802 | 974 | 1 029 | 807 | 539 | 583 | 414 | 400 | 397 | 435 | 422 | 427 | 339 | 378 | 347 |
| NMVOC | kt | 761 | 680 | 684 | 562 | 464 | 449 | 412 | 411 | 427 | 395 | 390 | 410 | 391 | 384 | 401 | 379 | 408 |
| SO2 | kt | 29 | 22 | 25 | 18 | 10 | 11 | 10 | 10 | 11 | 11 | 12 | 11 | 10 | 9 | 9 | 10 | 9 |
| NH3 | kt | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 75 177 | 70 012 | 63 955 | 63 685 | 54 742 | 54 258 | 52 037 | 53 772 | 53 244 | 51 628 | 51 376 | 52 638 | 49 928 | 46 755 | 40 804 | 43 157 | 39 111 |
| Nouveau | kt CO2e | 76 941 | 69 750 | 63 573 | 63 387 | 54 601 | 54 167 | 51 968 | 53 720 | 53 209 | 51 609 | 51 370 | 52 646 | 49 883 | 46 725 | 40 734 | 43 013 | 39 113 |
| Différence | kt CO2e | +1 764 | -262 | -382 | -298 | -141 | -91 | -69 | -52 | -36 | -19 | -6.6 | +7.7 | -46 | -29 | -70 | -143 | +1.8 |
| | % | +2.3% | -0.4% | -0.6% | -0.5% | -0.3% | -0.2% | -0.1% | -0.1% | -0.1% | -0.0% | -0.0% | +0.0% | -0.1% | -0.1% | -0.2% | -0.3% | +0.0% |

Source Citepa / mars_2025

Recalcul_CRT.xlsm /2. Industrial procesees and product uses

**Tableau 409 : Modifications intervenues dans le secteur de l'agriculture (CRT 3) entre la mise à jour de la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025 (Périmètre France UE)**

| OLD | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO2 | kt | 1 905 | 1 984 | 1 984 | 1 968 | 1 911 | 2 103 | 2 167 | 2 014 | 2 116 | 2 113 | 2 123 | 2 096 | 2 218 | 2 040 | 2 062 | 1 959 | 1 925 |
| CH4 | kt | 1 777 | 1 739 | 1 788 | 1 678 | 1 680 | 1 652 | 1 633 | 1 632 | 1 652 | 1 658 | 1 649 | 1 631 | 1 606 | 1 578 | 1 554 | 1 518 | 1 473 |
| N2O | kt | 100 | 93 | 100 | 94 | 88 | 89 | 90 | 88 | 91 | 90 | 88 | 90 | 88 | 86 | 83 | 81 | 77 |
| HFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unspecified mix of HFCs and PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SF6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NF3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOx | kt | 175 | 160 | 170 | 160 | 148 | 151 | 149 | 146 | 149 | 151 | 151 | 151 | 151 | 145 | 140 | 137 | 130 |
| CO | kt | 85 | 83 | 89 | 63 | 53 | 50 | 48 | 42 | 40 | 38 | 32 | 34 | 30 | 31 | 28 | 29 | 28 |
| NMVOC | kt | 435 | 438 | 430 | 416 | 409 | 417 | 409 | 411 | 419 | 425 | 423 | 426 | 431 | 421 | 418 | 396 | 419 |
| SO2 | kt | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NH3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| NEW | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO2 | kt | 1 905 | 1 984 | 1 984 | 1 968 | 1 911 | 2 103 | 2 167 | 2 014 | 2 116 | 2 113 | 2 123 | 2 096 | 2 218 | 2 040 | 2 062 | 1 959 | 1 925 |
| CH4 | kt | 1 918 | 1 862 | 1 906 | 1 791 | 1 787 | 1 760 | 1 739 | 1 739 | 1 759 | 1 762 | 1 748 | 1 733 | 1 707 | 1 678 | 1 650 | 1 611 | 1 576 |
| N2O | kt | 101 | 94 | 101 | 95 | 90 | 91 | 92 | 89 | 93 | 91 | 89 | 91 | 90 | 87 | 84 | 85 | 78 |
| HFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unspecified mix of HFCs and PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SF6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NF3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOx | kt | 175 | 160 | 171 | 161 | 148 | 152 | 150 | 147 | 151 | 152 | 152 | 152 | 152 | 146 | 141 | 138 | 131 |
| CO | kt | 85 | 83 | 89 | 64 | 53 | 50 | 48 | 42 | 40 | 38 | 32 | 31 | 25 | 22 | 18 | 18 | 18 |
| NMVOC | kt | 450 | 452 | 443 | 429 | 421 | 430 | 422 | 424 | 432 | 438 | 435 | 438 | 444 | 433 | 430 | 407 | 432 |
| SO2 | kt | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NH3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 78 141 | 75 390 | 78 624 | 73 834 | 72 238 | 71 960 | 71 800 | 71 007 | 72 597 | 72 308 | 71 592 | 71 622 | 70 616 | 68 906 | 67 426 | 66 042 | 63 645 |
| Nouveau | kt CO2e | 82 492 | 79 146 | 82 246 | 77 331 | 75 746 | 75 440 | 75 170 | 74 319 | 75 933 | 75 561 | 74 688 | 74 768 | 73 749 | 72 021 | 70 443 | 69 705 | 66 857 |
| Différence | kt CO2e | +4 351 | +3 756 | +3 622 | +3 496 | +3 508 | +3 480 | +3 370 | +3 312 | +3 336 | +3 253 | +3 096 | +3 147 | +3 133 | +3 115 | +3 017 | +3 663 | +3 211 |
| | % | +6% | +5% | +5% | +5% | +5% | +5% | +5% | +5% | +5% | +4% | +4% | +4% | +4% | +5% | +4.47% | +6% | +5% |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /3. Agriculture

**Tableau 410 : Modifications intervenues dans le secteur de l'UTCATF (CRT 4) entre la mise à jour de la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025 (Périmètre France UE)**

| OLD | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO2 | kt | -20 985 | -27 704 | -25 677 | -54 940 | -38 836 | -39 862 | -43 292 | -47 983 | -41 615 | -38 261 | -32 180 | -21 273 | -26 126 | -20 311 | -22 952 | -20 641 | -20 272 |
| CH4 | kt | 22 | 127 | 46 | 29 | 28 | 28 | 28 | 26 | 27 | 27 | 27 | 28 | 27 | 27 | 26 | 26 | 30 |
| N2O | kt | 8 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| HFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unspecified mix of HFCs and PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SF6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NF3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOx | kt | 10 | 9 | 8 | 7 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 | 10 |
| CO | kt | 366 | 302 | 285 | 263 | 268 | 265 | 266 | 247 | 254 | 259 | 272 | 287 | 265 | 274 | 264 | 264 | 351 |
| NMVOC | kt | 1 153 | 1 201 | 1 178 | 1 273 | 1 152 | 1 244 | 1 197 | 1 211 | 1 227 | 1 313 | 1 265 | 1 328 | 1 446 | 1 375 | 1 361 | 1 182 | 1 584 |
| SO2 | kt | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NH3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| NEW | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO2 | kt | -25 066 | -31 029 | -28 453 | -57 779 | -42 008 | -43 182 | -46 340 | -52 184 | -44 672 | -41 510 | -37 667 | -29 846 | -39 814 | -36 598 | -39 214 | -36 430 | -35 599 |
| CH4 | kt | 23 | 126 | 46 | 31 | 28 | 28 | 28 | 26 | 26 | 26 | 26 | 27 | 26 | 25 | 24 | 24 | 28 |
| N2O | kt | 8 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| HFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unspecified mix of HFCs and PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SF6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NF3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOx | kt | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 9 |
| CO | kt | 366 | 291 | 286 | 275 | 269 | 265 | 265 | 243 | 249 | 252 | 261 | 277 | 254 | 253 | 243 | 244 | 331 |
| NMVOC | kt | 1 153 | 1 201 | 1 178 | 1 273 | 1 152 | 1 244 | 1 197 | 1 211 | 1 227 | 1 313 | 1 265 | 1 328 | 1 446 | 1 375 | 1 361 | 1 182 | 1 584 |
| SO2 | kt | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| NH3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | -18 289 | -22 428 | -23 057 | -52 785 | -36 640 | -37 710 | -41 205 | -46 028 | -39 688 | -36 367 | -30 310 | -19 444 | -24 382 | -18 611 | -21 354 | -19 045 | -18 500 |
| Nouveau | kt CO2e | -22 364 | -25 804 | -25 813 | -55 532 | -39 788 | -41 019 | -44 254 | -50 247 | -42 773 | -39 658 | -35 870 | -28 103 | -38 158 | -35 024 | -37 743 | -34 959 | -33 970 |
| Différence | kt CO2e | -4 075 | -3 376 | -2 756 | -2 747 | -3 148 | -3 308 | -3 050 | -4 219 | -3 084 | -3 291 | -5 559 | -8 659 | -13 775 | -16 412 | -16 389 | -15 914 | -15 471 |
| | % | +22% | +15% | +12% | +5% | +9% | +9% | +7% | +9% | +8% | +9% | +18% | +45% | +56% | +88% | +77% | +84% | +84% |

Source Citepa / mars_2025

Recalcul_CRT.xlsm /4. LULUCF

**Tableau 411 : Modifications intervenues dans le secteur des déchets (CRT 5) entre la mise à jour de la soumission de mars 2024 et celle de mars 2025 (Périmètre France UE)**

| OLD | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO2 | kt | 2 194 | 2 223 | 1 705 | 1 549 | 1 606 | 1 651 | 1 540 | 1 541 | 1 788 | 1 539 | 1 545 | 1 468 | 1 427 | 1 794 | 1 600 | 1 838 | 1 619 |
| CH4 | kt | 498 | 604 | 666 | 684 | 658 | 624 | 615 | 557 | 523 | 496 | 500 | 505 | 498 | 518 | 516 | 491 | 503 |
| N2O | kt | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| HFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unspecified mix of HFCs and PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SF6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NF3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOx | kt | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO |
| CO | kt | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO |
| NMVOC | kt | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO | NA,NO |
| SO2 | kt | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| NH3 | kt | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| NEW | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO2 | kt | 2 110 | 2 195 | 1 692 | 1 540 | 1 602 | 1 646 | 1 536 | 1 536 | 1 784 | 1 533 | 1 541 | 1 465 | 1 423 | 1 794 | 1 596 | 1 846 | 1 628 |
| CH4 | kt | 498 | 604 | 666 | 684 | 660 | 624 | 615 | 552 | 516 | 486 | 489 | 493 | 485 | 517 | 515 | 494 | 502 |
| N2O | kt | 9 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 10 | 10 | 10 | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| HFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unspecified mix of HFCs and PFCs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SF6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NF3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOx | kt | 7 | 7 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| CO | kt | 29 | 31 | 31 | 31 | 39 | 40 | 42 | 44 | 50 | 41 | 40 | 36 | 39 | 43 | 33 | 42 | 30 |
| NMVOC | kt | 11 | 12 | 12 | 13 | 15 | 14 | 15 | 15 | 16 | 13 | 13 | 12 | 13 | 14 | 12 | 13 | 11 |
| SO2 | kt | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NH3 | kt | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| PRG | unité | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancien | kt CO2e | 17 251 | 20 297 | 21 480 | 21 673 | 20 921 | 20 016 | 19 633 | 17 954 | 17 252 | 16 230 | 16 353 | 16 435 | 16 214 | 17 174 | 16 909 | 16 463 | 16 572 |
| Nouveau | kt CO2e | 18 557 | 21 639 | 22 902 | 23 287 | 22 921 | 21 949 | 21 521 | 19 696 | 18 933 | 17 927 | 17 982 | 18 025 | 17 768 | 18 997 | 18 727 | 18 432 | 18 350 |
| Différence | kt CO2e | +1 306 | +1 342 | +1 422 | +1 614 | +2 000 | +1 933 | +1 888 | +1 742 | +1 681 | +1 698 | +1 629 | +1 590 | +1 553 | +1 823 | +1 818 | +1 969 | +1 778 |
| | % | +8% | +7% | +7% | +7% | +10% | +10% | +10% | +10% | +10% | +10% | +10% | +10% | +10% | +11% | +11% | +12% | +11% |

Source Citepa / mars_2025 Recalcul_CRT.xlsm /5. Waste

# Annexe 8

## Informations supplémentaires sur les registres et systèmes nationaux d'inventaire

**Rédacteurs** :

**MTE / DGEC / DGTrésor** : Nolwenn Brossier, Alix Menahem, Maxime Roux
**DG Trésor :** Gauthier Mesa, Pierre Marc, Pierre Gouriou
**AFD** : Atika Ben Maid, Julie Vaille
**ADEME** : Céline Phillips

**Information sur la comptabilisation des unités et registre**

Compte tenu de l'expiration de la période supplémentaire de la deuxième période de Kyoto le 24 octobre 2023, et du fait qu'aucun registre national au sein de l'infrastructure du système de registre de l'Accord de Paris n'est opérationnel, le rapport sur les changements du registre national, qui été fourni dans le cadre du Protocol de Kyoto, n'est plus pertinent.

**Information sur les changements concernant le système national d'inventaire**

Les dispositions institutionnelles du système national d'inventaire décrites dans les précédents rapports d'inventaire (éditions du 15 janvier 2024 et 15 mars 2024) restent valables, à savoir :

*Nom et coordonnées du responsable du système national d'inventaire désigné par la Partie*

La responsabilité de la définition et de la maîtrise d'ouvrage du système national d'inventaire des émissions, appartient au Ministère chargé de l'environnement. Mme Auriane Bugnet et Mme Nolwenn BROSSIER, Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC), Bureau des émissions Communication UE au 15 janvier 13 et du pilotage de la stratégie nationale bas-carbone (BESNBC) , ont la responsabilité du suivi du système national d'inventaire de la France, +33 (0) 1 40 81 99 14, auriane.bugnet@developpement-durable.gouv.fr et nolwenn.brossier@developpementdurable.gouv.fr .

*Répartition des rôles et des responsabilités au sein du système national d'inventaire*

Se référer à la section 1.2.1.

**Article 9, 10 et 11 de L'Accord de Paris : appui aux pays en développement**

Les articles 9, 10 et 11 de l'Accord de Paris définissent l'appui aux pays en développement dans le cadre de la lutte contre le réchauffement climatique. Cet appui peut se formaliser sous la forme de soutiens financiers, transferts de technologies et/ou renforcements des capacités

**Impacts des politiques et mesures**

Les considérations de l'impact éventuel des politiques et mesures sur les pays en développement font partie intégrante des études ou d'évaluations d'impact sur les propositions législatives de l'UE ou les accords commerciaux, tels que des propositions spécifiques sur l'action climatique ou des mesures sectorielles transfrontalières y compris l'énergie, les transports, l'industrie et l'agriculture.

Concernant les politiques et mesures mises en place dans le cadre de politiques européennes, la France en tant qu'Etat membre de l'Union européenne se doit de transposer le droit européen dans son système législatif. Dans le processus d'adoption de politiques européennes, l'Europe a mis en place un système permettant d'estimer les impacts positifs et négatifs de celles-ci, dont les effets sur les autres pays dans le cadre des études d'impact (ce système est décrit dans la septième communication nationale de l'Union Européenne). La prise en compte de ces études d'impact est un élément clef de la décision finale sur la définition des politiques et mesures. Ces études permettent de s'assurer que les impacts négatifs d'une politique européenne sur les pays en développement soient minimisés

**Renforcement de capacité**

Le spectre thématique du renforcement de capacité de la France s'élargit avec les années. La 8e Communication Nationale et le 5ème rapport bisannuel de la France, soumis en janvier 2023, sont l'occasion de mettre en avant les progrès réalisés en matière d'échanges et de partages sur les cadres et outils d'atténuation et d'adaptation aux effets du changement climatique. Les principaux éléments sont repris ici. Le groupe Agence française de développement (AFD) qui met en œuvre la politique de développement de la France, joue un rôle essentiel dans le renforcement des capacités des pays en développement. A travers ses entités - l'AFD, Proparco et Expertise France – le groupe déploie des formations, des transferts de savoir-faire techniques et des conseils stratégiques pour améliorer les compétences locales et partager les savoir-faire. Ces actions visent à accompagner ses partenaires dans la transition vers un développement durable ou l'intégration des enjeux climatiques. Le Groupe AFD propose notamment des formations pratiques à destination des acteurs locaux qu'il s'agisse de collectivités, de banques de développement, d'entreprises, de ministères ou d'ONG. Ces formations couvrent des domaines variés comme l'élaboration de projets de développement durable ou la mobilisation de financements verts. Si ces initiatives sont intégrées directement dans les projets, elles reposent aussi sur des filiales ou programmes spécifiques qui visent le renforcement des capacités, tels qu'Expertise France, la facilité 2050 et le programme AdaptAction (voir ci-dessous)

Le Groupe comprend notamment Expertise France, une agence publique dédiée à la conception et la mise en œuvre de projets internationaux de coopération technique. Cette entité déploie des missions d'expertise, où des spécialistes français et internationaux collaborent étroitement avec les équipes locales afin de transférer des compétences dans des domaines tels que la gestion des ressources naturelles, la mise en place de politiques énergétiques ou la gestion des risques climatiques. L'intégration d'Expertise France

au sein du Groupe AFD en 2022 permet à la France de proposer une offre globale, harmonisée et sans équivalent au service des pays en développement*Renforcement des capacités des pays en développement en matière d'atténuation*En matière d'atténuation, le Groupe AFD (AFD, Proparco et expertise France) accompagne ses partenaires dans la mise en œuvre de projets et programmes de qualité. L'objectif est de permettre des actions durables, au-delà des interventions de l'AFD. Le Groupe soutient l'intégration des enjeux climatiques dans le fonctionnement interne de ses partenaires (alignement des acteurs, par exemple), et les accompagne dans l'élaboration de cadres stratégiques en faveur de l'atténuation, que ce soit dans leurs opérations, les CDN ou les plans sectoriels d'atténuation (stratégie climat de ministères de l'énergie par exemple, etc.).

L'AFD s'est par ailleurs dotée de la "facilité 2050", un instrument conçu en 2018 pour mener des actions de coopération technique et de renforcement des capacités. Cette initiative vise à accompagner les pays en développement dans la conception et la mise en œuvre de politiques publiques favorisant un développement à la fois bas carbone et résilient. Depuis son lancement, la facilité 2050 a permis de déployer une cinquantaine d'appuis dans une trentaine de pays, dont un tiers figurent parmi les pays les moins avancés. En 2023, son budget a été renforcé par un réabondement de 10 millions d'euros en subventions, s'ajoutant aux 30 millions d'euros déjà octroyés.

*Renforcement des capacités des pays en développement en matière d'adaptation*

La France est engagée dans des projets visant à partager avec les pays en développement, sa propre expérience dans la planification des politiques d'adaptation. La France s'est en effet dotée d'une stratégie d'adaptation dès 2006. En 2011, un premier plan national d'adaptation a été publié. L'évaluation de ce plan national a été effectuée en 2015. Et en 2018, a été lancé le second plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-2).

Dans le cadre de la convention Services Climatiques signée en 2017 entre le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et les principaux organismes de recherche dans la science du climat, le deuxième volet du 4ème axe de travail (WP4) porte sur un démonstrateur de service climatique pour l'agriculture de l'Afrique de l'Ouest. Dans un continent particulièrement vulnérable à la variabilité et aux changements climatiques, il s'agit de disposer d'outils efficaces de gestion, du risque climatique pour apporter une réelle plus-value aux stratégies d'adaptation.

Le groupe AFD a lancé le programme AdaptAction qui, grâce à une assistance technique et des activités de renforcement des capacités, vise à accompagner les pays vulnérables dans la mise en œuvre de leurs stratégies d'adaptation au changement climatique. Le programme aide les acteurs locaux (gouvernements, collectivités, entreprises, ONG) à développer les compétences nécessaires pour concevoir, gérer et financer des projets d'adaptation durables. Il facilite également le transfert de savoir-faire sur des thématiques spécifiques comme la gestion des risques climatiques, la résilience des écosystèmes et l'intégration des enjeux climatiques dans les politiques publiques. À travers ses différentes phases et en travaillant avec des experts locaux et internationaux, AdaptAction aide ses partenaires à mieux intégrer les enjeux climatiques dans leur fonctionnement et à renforcer leurs capacités pour anticiper et gérer les impacts du changement climatique. La première phase du programme (2017-2022), dotée d'un budget de 30 millions d'euros, a permis de déployer plus de 70 interventions dans 15 pays, principalement des pays les moins avancés, des États africains et des petits États insulaires. Cette phase a dépassé ses objectifs initiaux en matière d'effet de levier, catalysant le financement de 10 projets totalisant 582 millions d'euros, financés ou cofinancés par l'AFD, le fonds vert et l'Union européenne. La deuxième phase, lancée en 2022 avec un budget de 15 millions d'euros pour la période 2022-2025, cible spécifiquement 12 pays africains. En 2022, une extension du programme à six pays du bassin méditerranéen a été annoncée avec un budget supplémentaire de 7,5 millions d'euros, dont 6 millions financés par l'Union européenne, en partenariat avec UNCDF-LoCAL.

**Mise en place d'un système national de rapportage (inventaire de GES, projections, atténuation, adaptation, transparence)**

La France participe depuis 2014, techniquement et financièrement, aux activités du « cluster francophone » en cofinançant avec la Belgique et l'Allemagne des ateliers de renforcement de capacité à l'intention des pays en développement francophones. Le Cluster francophone est une initiative du Partenariat International sur l'Atténuation et le MRV et œuvre dans le cadre plus global du PATPA (Partnership on Transparency in the Paris Agreement) cf. https://transparency-partnership.net/. Le cluster francophone a été créé en 2013. Il a pour but de permettre des échanges d'informations, d'expertises et d'expériences entre partenaires francophones, pays en voie de développement et pays développés, concernant les inventaires de GES, le développement de NAMA, le processus MRV et la formulation des contributions prévues déterminées au niveau national (INDC en anglais). Plusieurs ateliers ont été organisés depuis 2013 (voir http://mitigationpartnership.net/cluster-francophone). Un side event de présentation du retour d'expérience de ces ateliers a eu lieu lors de la COP 21 de Paris. En 2016, deux nouveaux ateliers ont été organisés, le premier en avril à Abidjan et le second en décembre à Casablanca. En 2017, un nouvel atelier a été organisé à Rome. Un atelier dédié à l'adaptation a eu lieu à Douala en 2018, avec la participation de l'ONERC. En 2018, l'atelier a été organisé également au Cameroun sur la Mesure et l'Evaluation des mesures d'adaptation. En 2019, l'atelier de Saly au Sénégal a rassemblé 65 participants de 20 pays africains francophones en développement afin de comprendre comment réussir la mise en œuvre des lignes directrices 2006 du GIEC dans les secteurs de l'« Agriculture, foresterie et autres affections des terres » (AFAT) et du traitement des déchets dans le but de soumettre les rapports biennaux actualisés (Biennial Update Report ou BUR en Anglais) et les futurs rapports de biennaux de transparence (BTR – Biennial Transparency Report) et de stimuler la mise en œuvre des CDN. Pendant le COVID, les ateliers ont été dispensés à distance. Le Citepa, avec son d'expertise reconnue au plan mondial, spécialiste des inventaires français depuis leur genèse, est un acteur majeur du cluster francophone et anime ces ateliers. En

2021 l'atelier du cluster francophone avait pour objectif d'appuyer les pays dans la mise à jour et le rehaussement de leur CDN pour la COP26 qui a eu lieu à Glasgow en 2021. En 2022 l'atelier du cluster francophone s'est tenu à Bonn, sur le sujet du suivi des CDN. En 2023, un atelier commun aux clusters francophone et lusophone a été organisé à Istanbul afin d'échanger sur le cadre de transparence renforcée. En 2024, plusieurs activités ont été menées : le "Global BTR Dialogue » avril-mai 2024 à Bruxelles, l'atelier de juin 2024 à Kigali, Rwanda sur le suivi des CDN et le rapportage adaptation, un appui au Gabon dans l'élaboration de l'inventaire GES et suivi CDN, une formation au Burkina Faso sur les lignes directrices 2019 GIEC en agriculture.

**Appui de la France à la mise en place d'un système national d'inventaire de GES en Algérie**

Le Ministère de l'Europe et des Affaires Etrangères français, représenté par l'Ambassade de France en Algérie, cofinance un appui des instances algériennes dont l'Agence Nationale du Changement Climatique (ANCC) et le Ministère de l'environnement. Cet appui qui a débuté en 2018 est réalisé par le Citepa en tant qu'Opérateur d'Etat et porte sur l'institutionnalisation du système national d'inventaire de GES, la formation des experts algériens aux méthodes d'inventaire de GES sur la base des lignes directrices 2006 du GIEC, leur accompagnement dans la mise en œuvre des calculs d'émissions pour tous les secteurs sur des séries temporelles longues. Ces travaux pourront être utilisés dans les exercices en cours d'élaboration de la Communication Nationale et du RBA ainsi que dans la révision de la CDN.

**Outil sur la transparence et le MRV des émissions de polluants atmosphériques et de GES : RISQ**

Développé par le Citepa et personnalisé pour la mise en oeuvre dans les pays émergents et en développement. Cet outil existe en trois déclinaisons Excel, Access et Web. Il contribue à la transparence, exactitude, fiabilité, couverture et cohérence, piliers de la transparence : pour les inventaires nationaux, le suivi des actions d'atténuation et de la CDN conformément aux MPGs, le suivi des actions d'adaptation, ainsi qu'au suivi des financements CC, transfert de technologie et le renforcement des capacités des pays en développement ; il permet la scalabilité des aspects mesure, rapportage et de vérification (des nations aux villes, des nations à leurs voisines). RISQ a été mis en oeuvre en France, Monaco, Maroc, Nigéria, Niger, Ouzbékistan, Pakistan Rwanda, Tunisie, Algérie et Qatar (développements initiaux de l'outil RISQ sur autofinancement du Citepa).

**Le centre franco-chinois avec le CRAES**

Le Citepa et son partenaire chinois le CRAES, qui dépend du ministère du contrôle des polluants, se sont rencontrés pour la première fois à Pékin en 2014. Ils ont signé le 1er août 2015 un accord-cadre sur 5 ans afin d'intégrer GES et polluants pour permettre une synergie entre qualité de l'air en ville et lutte contre le changement climatique. Cette collaboration fondée sur la connaissance, la quantification, le rapportage et les projections des émissions en Chine vise à une intégration progressive des problématiques air-climat-énergie. Un rapport a été publié en 2015 sur les fruits de ce travail commun, qui a abouti à la création du centre franco-chinois des polluants, des émissions de GES et de leur réduction. Le centre promeut les bonnes pratiques en matière d'inventaire d'émissions de GES, de mesure, de rapportage et de vérification, au service des politiques publiques. Ces actions ont été présentées lors d'un side-event spécifique lors de la 5ème conférence internationale franco-chinoise sur l'environnement atmosphérique, qui a eu lieu à Xi'an en octobre 2016. Un atelier a également eu lieu à Paris, en mai 2017. En 2019, ce partenariat a été complété par la venue du NTSC, division du MEE chinois, et responsable de la NDC de Chine. En 2019-2020, il était prévu de faire la démonstration d'une approche intégrée des rapportages et politiques et mesures climat et pollution atmosphérique, dans deux provinces (dont la Mongolie intérieure). Une démonstration pilote, mobilisant deux logiciels RISQ régionaux, a été présenté pour demande de financement, en mars 2019 à la Banque Asiatique du développement (AsDB – Asian Development Bank).

Une nouvelle présentation du logiciel RISQ, pour application en différents pays d'Asie a eu lieu au premier semestre 2020. Ce projet est mené sur autofinancement du Citepa.

**Le rôle de l'ADEME Renforcement des capacités des collectivités locales**

L'Agence de la transition écologique, ADEME, accompagne le renforcement de capacité des collectivités territoriales et entreprises françaises sur l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre et l'adaptation aux conséquences du changement climatique. Cette expertise a été partagée au niveau international dans des programmes de renforcement de capacité des collectivités de l'Afrique subsaharienne. En partenariat avec la Commission européenne l'ADEME a contribué aux travaux de la Convention des Maires pour l'Afrique subsaharienne (Com SSA). L'ADEME a accompagné aussi l'organisation panafricaine Cités et gouvernements locaux unis d'Afrique (CGLU – Afrique) et son Académie Africaine des Collectivités Territoriales (ALGA).

L'ADEME appui aussi la contribution française à des réseaux internationaux de collectivités territoriales qui visent la montée en compétences des collectivités territoriales sur des enjeux tels que la mobilité urbaine durable (Mobilise Your City), et les solutions de financement de la transition (Fond mondiale pour le développement des villes, FMDV / Global Fund For Cities Development).

| Bénéficiaire Pays/ Region | Champ | Programme ou titre du projet | Description du programme ou du projet |
|---|---|---|---|
| Africa | Multiple Areas | AMMA-CATCH | Concernant le SMOC (Système d'Observation Mondial du Climat) en Afrique, le programme AMMA-CATCH est un système d'observation pour un suivi à long terme des impacts de la mousson en Afrique de l'Ouest. Il avait été initié par le MESR (Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche) et il bénéficie du soutien de l'IRD (Institut de recherche pour le développement) et de l'INSU (L'Institut national des sciences de l'Univers). http://www.amma-catch.org/ |
| Mediterranean basin | Multiple Areas | MISTRALS | Lancé en 2008 pour une durée prévue jusqu'en 2020, MISTRALS est un méta-programme international de recherches fondamentales et d'observations interdisciplinaires et systématiques dédié à la compréhension du fonctionnement et de l'évolution de l'environnement dans le bassin méditerranéen sous les pressions du changement global anthropique pour en prédire l'évolution future. Au-delà de sa vocation académique, MISTRALS a également pour ambition de transformer les objectifs et résultats de recherche en concepts et données accessibles aux décideurs, acteurs territoriaux et gestionnaires, afin d'identifier les besoins et nécessités nationaux et transnationaux et de répondre aux enjeux sociétaux, environnementaux et économiques pour le développement durable des pays et des populations partageant l'aire méditerranéenne. http://www.mistrals-home.org/spip/spip.php?rubrique39 |
| Africa | Adaptation | Service Climatique | Démonstrateur 2 dans le cadre de la convention Services Climatiques signées en 2017 entre le MTES et les laboratoires spécialistes du climat : IPSL/LSCE; CNRM ; CECI. Il s'agit d'un démonstrateur de service climatique pour l'agriculture en Afrique de l'Ouest. |
| Africa, SIDS | Mitigation, Adaptation | Facilité française de préparation aux INDC | Préparation des INDC d'une trentaine de pays |
| Africa | Mitigation | Cluster francophone | Formation sur les inventaires de GES et les mesures d'atténuation |
| Africa (Ethiopia, Zambia) | Mitigation | AFD | Analyse des lacunes du système MRV en termes d'inventaires de GES et d'atténuation des émissions |
| Africa (Comores) | Mitigation (renforcement des capacités) | Adapt'Action | Renforcement d'une NDC |
| Global | Mitigation (MRV, transparence) | RISQ | Développé par le Citepa et personnalisé pour implémentation dans les pays émergents et en développement, cet outil existe en trois versions Excel, Access et Web. Il contribue à la transparence, exactitude, fiabilité, couverture et cohérence des inventaires nationaux ; à la durabilité des actions de renforcement des capacités des pays du sud ; enfin à la scalabilité de leur mesure, rapportage et de vérification (des nations aux villes, des nations à leurs voisines). RISQ a été implémenté ou le sera en France, Maroc, Nigéria, Niger, Rwanda, Tunisie, Algérie et Monaco. (Développements initiaux sur autofinancement du Citepa) |
| China | Mitigation (avec co-bénéfices pollution atmosphérique ) | Centre sino-français | Création d'un Centre sino-français dédié à l'intégration des systèmes d'inventaires d'émissions de GES et de polluants atmosphériques, en unissant les expertises françaises (Citepa) et chinoises (Académie Chinoise de Recherche en Sciences Environnementales de Pékin - CRAES), suite à des contacts de 2014. Le centre promeut les bonnes pratiques en matière d'inventaire d'émissions de GES, de mesure, de rapportage et de vérification, au service des politiques publiques. Ces actions ont été présentées lors d'un side-event spécifique lors de la 5ème conférence internationale franco-chinoise sur l'environnement atmosphérique, qui a eu lieu à Xi'an en octobre 2016. Un atelier a également eu lieu à Paris, en mai 2017. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Southern Europe, Mediterranean basin, Europe, Vietnam | Adaptation | Bilateral and multilateral cooperations | L'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC), a participé à différents travaux :<br>- le working group 6 installé par la Commission européenne pour le suivi des travaux d'adaptation au changement climatique et qui travaille actuellement sur la révision de la stratégie de l'UE relative à l'adaptation au changement climatique ;<br>- dans le cadre des travaux de l'agence européenne de l'Environnement :<br>- évaluation et la mise à jour de la plate-forme Climate-Adapt dans le cadre de la révision de la stratégie européenne<br>- Participation à la relecture des rapports thématiques de l'Agence Européenne de l'Environnement<br>- Rencontre multilatérale de pays d'Europe pour le partage d'expériences en matière d'évaluation des politiques publiques d'adaptation ;<br>- accueil de délégations de pays étrangers, notamment accueil de membres de l'Observatoire National sur les Changements Climatiques du Cameroun (ONACC)<br>dialogue multilatéral avec les pays riverains de l'arc alpin dans le cadre de la convention alpine (Conseil Consultatif sur le Climat) ;<br>Météo-France et les ministères concernés participent aux travaux de mise en place du cadre mondial pour les services climatiques dans le cadre de l'OMM, et dans le cadre de la convention signée en 2017 avec le MTES. |
| Multi-pays | Mitigation | Mobilise Your City | Lancée à la COP 21, MobiliseYourCity est une initiative franco-allemande de l'Agenda mondial de l'action pour le climat mise en œuvre par la GIZ, l'AFD, le CEREMA, la CODATU et l'ADEME, avec l'appui du FFEM. Elle vise à déployer des plans de mobilité urbaine durable dans 100 villes de 20 pays en développement. Elle prend la forme d'un programme partenarial au sein duquel : (i) des villes et gouvernements s'engagent dans l'élaboration de plans de développement durable de la mobilité urbaine (SUMPs) et de politiques nationales de la mobilité urbaine (NUMPs) pour améliorer la mobilité et réduire les émissions de GES ; et (ii) des actions sont financées pour les appuyer dans cet objectif, leur fournir un cadre méthodologique robuste, et leur permettre d'échanger entre pairs. |
| Méditerranée, Asie, Afrique Subsaharienne, Amérique Latine | Mitigation | PEEB - Programme pour l'Efficacité Energétique des Bâtiments | Lancé à la COP 22, le Programme pour l'Efficacité Energétique des Bâtiments contribue à l'Alliance mondiale pour les bâtiments et la construction (GABC) et est mis en œuvre par la GIZ, l'AFD et l'ADEME, avec l'appui du FFEM. Ce programme a pour objectif d'encourager et de financer des projets d'amélioration de la performance énergétique des bâtiments dans les pays en développement. Cinq pays pilotes sont visés dans la phase initiale du projet PEEB : Mexique, Maroc, Tunisie, Sénégal et Vietnam. La priorité est donnée aux bâtiments neufs dans la mesure où la majorité des bâtiments dans les pays en développement qui existeront en 2035 sont encore à construire. Le programme consiste en la mise en place d'une facilité de coopération technique, pour l'émergence au niveau international de solutions de financement innovantes, l'appui aux politiques publiques nationales et l'aide à la structuration et à l'accompagnement des projets. Cette facilité vise ainsi à promouvoir et accompagner le financement par des Institutions financières internationales et locales d'investissements dans des bâtiments efficaces en énergie. |
| Amérique latine et Caraïbes<br><br>Maroc, Algérie, Tunisie, Liban | | Appui à la mise en place d'un système de monitoring de l'efficacité énergétique (indicateurs d'efficacité énergétique et évaluation des politiques | Dans la continuité du projet européen Odyssee Mure mené depuis plus de 20 ans et qui a permis le développement et la mise en œuvre dans l'Union européenne d'une méthodologie d'évaluation des économies d'énergie sur la base d'indicateurs d'efficacité énergétique, l'ADEME soutient la déclinaison de cette méthodologie :<br>Au Maroc, en Algérie, en Tunisie et au Liban de 2012 à 2014 dans le cadre de MEDENER (Association méditerranéenne des agences nationales de maîtrise de l'énergie) ;<br>Depuis 2014 dans une vingtaine de pays d'Amérique Latine et des Caraïbes avec le CEPAL-UN (Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes des Nations unies) dans le cadre de l'IPEEC |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | d'efficacité énergétique) | (International Partnership for Energy Efficiency Cooperation) ; Depuis 2016, un travail plus en détail est mené avec le Mexique dans le cadre d'une coopération avec le CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) soutenue par l'AFD. |
| Maroc | Appui au renforcement du secteur de l'Energie | Jumelage entre le MTES et le MEMDD | La France (MTES) a été sélectionnée, avec l'Allemagne (BMWi) comme partenaire pour mettre en œuvre un jumelage avec le Maroc, financé par l'UE, intitulé "Appui au renforcement du secteur de l'énergie" (2017-2019). L'objectif général du projet vise à faciliter l'atteinte des objectifs de la stratégie énergétique nationale (sécurité de l'approvisionnement et de la disponibilité de l'énergie, accès généralisé à l'énergie, maîtrise de la demande et préservation de l'environnement). |
| Africa | Cities, Mitigation and adaptation | CICLIA | Décidé en 2016, financement en partie par l'AFD ainsi qu'en délégation à l'AFD de fonds de l'Union Européenne et de SECO : d'activités d'accompagnement technique à la planification Climat des villes ; de préparation de projets à co-bénéfices Climat ; d'assistance et de renforcement de capacité auprès des maîtrises d'ouvrage locales |
| Afrique francophone | Négociation | Ateliers de renforcement de capacités pour les négociatrices africaines francophones | Depuis 2018, la France et le Canada financent des cycles d'ateliers de renforcement des capacités à destination de négociatrices africaines francophones, afin d'assurer leur contribution active lors des intersessions et des Conférences des Parties. En 2022, 200 négociatrices ont participé aux ateliers et plus de 50 d'entre elles ont bénéficié de soutien financier additionnel pour participer à la COP27. Ces ateliers, appuyés par un système de mentorat, visent notamment à acquérir des connaissances sur les processus et les acteurs des négociations ainsi qu'à développer des aptitudes de négociation lors de simulations. |
| Multi-pays | Mitigation et Adaptation | Appui aux réseaux de collectivités territoriales | L'ADEME accompagne le renforcement des capacités de collectivités territoriales à la fois via un partage direct de son expérience nationale et via le soutien de la contribution française à des réseaux internationaux de collectivités territoriales. |

**Soutiens financiers**

Avec une contribution en équivalent-don de 13,9Mds EUR (soit 14,3 Mds USD) en 2023, la France se situe au cinquième rang des pays du G7 en termes de contribution d'aide publique au développement rapportée au revenu national brut. La très grande majorité de cette contribution en APD est issue de la coopération bilatérale, via le groupe Agence Française de développement (AFD), avec des financements qui s'élèvent à 13,5Mds Mds EUR en 2023, dont 7,5Mds EUR engagés pour lutter contre le changement climatique et ses effets.

Le reste de la contribution française à l'APD est un soutien à des acteurs multilatéraux. En effet, la France considère que le système multilatéral se doit d'être exemplaire et moteur en matière de lutte contre les changements climatiques, aux côtés de la coopération bilatérale, avec notamment pour finalité d'appuyer la mise en œuvre des contributions déterminées au niveau national par les pays en développement signataires de l'accord de Paris. A ce titre, la France est l'un des principaux contributeurs aux institutions financières et fonds multilatéraux dédiés au climat

Une part importante de l'action de la France est dédiée à sa participation aux banques de développement et aux fonds multilatéraux de développement, tels l'Association internationale de développement (AID), guichet concessionnel de la Banque mondiale, le Fonds africain de développement (FAD), le guichet concessionnel de la Banque africaine de développement et le fonds international de développement agricole (FIDA). Ces banques et fonds consacrent une partie de leurs ressources à la lutte contre les effets du changement climatique A titre d'exemple, la Banque Africaine de Développement (BAfD) a consacré 5,8 Mds USD au financement d'initiatives climatiques et environnementales, représentant 55% du total de ses approbations.

Coopération bilatérale

*Soutien financier fourni par le groupe Agence française de développement (AFD)*

Le groupe AFD a développé une stratégie climat ambitieuse pour la période 2017-2024, avec un objectif phare, celui de rendre cohérent l'ensemble de ses financements avec un développement bas-carbone et résilient des pays en développement. C'est la première banque publique de développement à avoir pris cet engagement « 100% Accord de Paris ». e groupe (y compris Proparco) s'est engagé notamment à allouer 50% de ses financements dans les pays en développement à des projets bénéfiques pour le climat. Le plan implique de s'assurer que les 50% de financements restant ne nuisent pas aux objectifs de l'Accord de Paris. Le groupe AFD évalue ses opérations pour s'assurer

de leur cohérence avec les trajectoires de décarbonation et de résilience au changement climatique (CDN, stratégies de long terme etc.), tels que les pays les ont définis eux-mêmes.

Forts de ces engagements, les financements climat du Groupe AFD ont significativement augmenté entre 2017 et 2023, passant de 4 à 7,5Mds € (+87 %), confirmant le rehaussement de ces ambitions. Les financements dédiés à l'adaptation ont atteint 3Mds€ en 2023, contre 1 Md€ en 2017. Dépassant les objectifs de sa stratégie climat, 62 % des octrois de l'AFD sont bénéfiques pour le climat en 2023.

Les financements climat du Groupe AFD se répartissent en trois catégories de soutien : des financements de projets contribuant aux efforts des partenaires/pays dans la mise en œuvre de leur CDN (en atténuation et/ou adaptation), un accompagnement des réformes des politiques publiques ou de l'alignement avec les objectifs des CDN et des stratégies long terme (sur atténuation et/ou adaptation) des acteurs non étatiques, à l'instar de banques ou d'opérateurs publics et privés, et enfin, des assistances techniques afin i. d'accompagner les deux premières catégories de projets et/ou ii. réaliser du renforcement des capacités des partenaires afin d'améliorer leurs capacités de réponse aux défis du changement climatique et de ses impacts.

1,7 Md€ de finance privée a été mobilisé par les projets climat du groupe AFD en 2021, dont 690,4 M€ par Proparco. Les lignes de crédit accordées à des banques publiques de développement et à des banques commerciales correspondent à 76 % de ce total. Ces financements privés ne sont pas comptabilisés dans le cadre des 6 Md€ de financements dédiés au climat en 2021.

La France est engagée dans des projets visant à partager avec les pays en développement, sa propre expérience dans la planification des politiques d'adaptation. La France s'est en effet dotée d'une stratégie d'adaptation dès 2006. En 2011, un premier plan national d'adaptation a été publié. L'évaluation de ce plan national a été effectuée en 2015. Et en 2018, a été lancé le second plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-2).

Dans le cadre de la convention Services Climatiques signée en 2017 entre le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et les principaux organismes de recherche dans la science du climat, le deuxième volet du 4ème axe de travail (WP4) porte sur un démonstrateur de service climatique pour l'agriculture de l'Afrique de l'Ouest. Dans un continent particulièrement vulnérable à la variabilité et aux changements climatiques, il s'agit de disposer d'outils efficaces de gestion, du risque climatique pour apporter une réelle plus-value aux stratégies d'adaptation.

### *Soutien financier fourni par le fonds français pour l'environnement mondial*

Le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM) est un fonds public bilatéral créé en 1994 et constitue l'un des grands instruments au service de la politique française de coopération et de développement en matière d'environnement. Il contribue, sous forme de subventions, au financement de projets innovants, ayant une finalité de développement économique et social ainsi qu'un impact significatif et durable sur l'une ou l'autre des grandes composantes de l'environnement mondial (notamment la lutte contre le changement climatique, la protection de la biodiversité, la lutte contre la dégradation des terres et la désertification ainsi que la lutte contre la dégradation des eaux terrestres et marines). Depuis sa création, il a permis de soutenir plus de 393 projets dans plus de 120 pays, dont les deux tiers en Afrique.

La stratégie 2023-2026 du FFEM, adoptée par son Comité de pilotage fin 2022, identifie **cinq thématiques prioritaires** : (i) conservation et valorisation de la biodiversité ; (ii) résilience des écosystèmes aquatiques ; (iii) gestion durable des territoires agricoles et forestiers ; (iv) adaptation et transition bas carbone des villes et territoires ; (v) solutions circulaires et lutte contre les pollutions.

Reconstitution 2023-2026

Le FFEM a été reconstitué pour la période 2023-2026 à hauteur de 132 M€ (en hausse de 10% par rapport à la période 2019-2022)

| Quadriennum | 2015-2018 | 2019-2022 | Augmentation | 2023-2026 | Augmentation |
|---|---|---|---|---|---|
| AE | 90 MEUR | 120 MEUR | + 30% | 132 MEUR | + 10% |

### *Soutien financier fourni sous forme de dons (FASEP) et de prêts par le Trésor français*

Par ailleurs, le ministère de l'économie et des finances contribue, sous forme de dons ou d'avances remboursables, au financement d'études de faisabilité, d'assistance technique et de démonstrateurs de technologies innovantes dédiés à l'environnement et au développement durable, dans le cadre des fonds d'étude et d'aide au secteur privé (FASEP). Cet instrument finance des prestations réalisées par des bureaux d'études français et bénéficie à des entités publiques dans les pays éligibles à l'Aide publique au développement et pour des projets de développement économique durable répondant aux besoins de ces pays (meilleur accès à l'eau, aux énergies renouvelables, amélioration de l'offre de transports, etc.).

Le ministère de l'économie et des finances soutient également, par l'intermédiaire de prêts du Trésor, des projets d'infrastructures portés par des entités publiques dans des pays émergents éligibles à l'aide publique au développement20. Les secteurs concernés visent essentiellement le développement durable et la thématique du changement climatique (transports de masse, eau et environnement, énergies renouvelables, etc.).

*Contribution au Fonds vert pour le climat*

Le Fonds vert pour le climat (FVC), décidé à la conférence climat de Copenhague en 2009, est devenu l'un des principaux fonds multilatéraux consacré au financement de l'atténuation et l'adaptation des pays en développement vers des économies sobres en carbone et résilientes. Sa capitalisation initiale est de 10,3 Mds USD. Il vise une répartition équilibrée entre atténuation et adaptation et une allocation minimale de 50% de ses ressources consacrées à l'adaptation pour les pays les moins avancés, les États africains et les petits États insulaires en développement.

Au 9 janvier 2025, le FVC avait approuvé 286 projets dans 133 pays en développement pour un montant total de 15,89 Mds USD (hors cofinancements), par le biais d'une palette d'instruments financiers (dons, prêts, capital, garanties). Les cofinancements associés à ces projets représentaient environ 45,41 Mds USD. Ces projets auraient permis une réduction de plus de 3,06 Md de tonnes de CO2. En outre, le FVC vise un équilibre entre les financements dédiés à l'atténuation aux changements climatiques et ceux dédiés à l'adaptation. En octobre 2024, 43% des engagements du fonds visaient des projets d'atténuation, contre 57% pour l'adaptation (en équivalent don).

La France a contribué à hauteur de 1,6 Md€ (1,7 Md$) lors de la dernière reconstitution du Fonds vert pour le climat sur la période 2024-2027, marquant une augmentation de 4% par rapport à sa contribution précédente sur la période 2030-2023. Cet engagement fort, qui représente un effort budgétaire important, place la France au rang de quatrième contributeur pour cette reconstitution derrière les Etats-Unis, le Royaume-Uni et l'Allemagne.

*Contribution au Fonds pour l'environnement mondial*

Créé en 1991, le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), dont la France a été l'un des promoteurs principaux aux côtés de l'Allemagne, est l'un des principaux instruments multilatéraux en matière de préservation de l'environnement mondial. Ce fonds intervient, outre la réduction des émissions de gaz à effet de serre, dans les domaines de la protection de la biodiversité, de la protection des eaux internationales, des luttes contre l'appauvrissement de la couche d'ozone, contre la dégradation des sols et contre les polluants organiques persistants.

Le FEM est le mécanisme financier pour cinq conventions :

- Convention sur la diversité biologique (CDB) ;
- Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) ;
- Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP) ;
- Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification (CNULD) ;
- Convention de Minamata sur le Mercure.

Depuis sa création, il a financé plus de 5 900 projets dans 170 pays, pour un montant total estimé à 23,8 Mds USD en subventions (fonds propres). Ce fonds a permis de mobiliser 158 Mds USD supplémentaires en co-financement.

La reconstitution du fonds (FEM-8) a été conclue mi-2022 pour la période 2022-2026 et totalise 5,33 Mds USD. Ce fonds, en hausse de 31 % par rapport à FEM-7 (4,1 milliards de dollars).

La France s'est engagée pour FEM-8 (2022-2026) à verser une contribution de 360 M USD sous la forme de dons, sur un total de 5,33 Mds USD. La France devient le 6ème pays contributeur derrière l'Allemagne, le Japon, les Etats Unis, le Royaume Uni et la Suède. La contribution française au Fonds a augmenté sur FEM-8 de près de 40% par rapport à FEM-7.

Sur les reconstitutions précédentes, la France a contribué à hauteur de 298 M USD sur FEM-5 (2010-2014, 5ème rang des contributeurs), 300 M USD sur FEM-6 (2014-2018, 5ème rang des contributeurs), et de 300 M USD sur FEM-7 (2018-2022, 4ème au rang des contributeurs).

*Fonds dédié au cadre mondial pour la biodiversité (GBFF)*

La COP 15 biodiversité qui s'est déroulée à Montréal fin décembre 2022 a demandé la création d'un nouveau fonds fiduciaire dédié au cadre mondial et qui serait placé sous le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM). Le 64ème conseil du FEM de juin 2023 a permis de

créer le nouveau fonds fiduciaire dédié au Cadre mondial pour la biodiversité (*Global biodiversity framework fund,* GBFF) avant que la 7e Assemblée du FEM, en août 2023, ratifie la décision. Au 9 janvier 2025, 10 pays ont participé à ce fonds pour un montant total de 377,12M USD. La France a contribué à hauteur de 5M EUR.

### *Contribution au Fonds pour les pays les moins avancés*

Le fonds pour les pays les moins avancés (Least Developed Countries Fund – LDCF) est dédié à l'adaptation et aux transferts de technologies dans les pays en développement, hébergés et gérés par le FEM. Il est destiné aux 49 pays classés dans la catégorie des pays les moins avancés par les Nations Unies. Ces pays sont caractérisés par un faible niveau de revenu, de faibles actifs humains et un niveau élevé de vulnérabilité économique.

Depuis sa création, 51 PMA ont eu accès à plus de 2 Md USD de subventions par le biais de près de 500 projets et programmes, catalysant plus de 7,8 Mds USD de cofinancement. Ces investissements ont bénéficié à plus de 65 millions de personnes, tout en renforçant la gestion durable de plus de 14 millions d'hectares de terres

La France y a contribué à hauteur de 85,4 M USD entre 2003 et 2022, sous la forme de subventions.

La France a annoncé lors de la COP 28 une nouvelle contribution de 35 M€ pour la période 2024-2026. Les financements seront répartis de la façon suivante :

- 10 M EUR en 2024
- 15 M EUR en 2025
- 10 M EUR en 2026

### *Fonds de réponse aux pertes et préjudices*

Décidé à l'occasion de la COP27 qui s'est tenu à Charm el Cheikh en 2022, le Fonds pour répondre aux pertes et préjudices a pour objectif de fournir un soutien financier aux pays en développement les plus vulnérables, afin de les aider à faire face aux impacts irréversibles du changement climatique. Il se distingue des fonds dédiés à l'adaptation ou à l'atténuation car il cible les impacts qui ne peuvent être évités ou réduits, malgré les efforts de préparation.

Ce fonds, hébergé par Banque Mondiale pour une période intérimaire de 4 ans, est en cours d'opérationnalisation pour répondre aux préjudices causés par les dégâts du changement climatique. C'est dans cet esprit que se déroulent les discussions actuelles, à l'instar du 4ème Conseil du Fonds tenu du 2 au 5 décembre 2024, qui a permis de fixer de grands principes et une feuille de route pour mettre en place le futur modèle opérationnel du fonds.

Au 18 décembre 2024, les engagements financiers au Fonds pour répondre aux pertes et préjudices s'élèvent à 745M USD. La France a déjà contribué à hauteur de 20M€

**<u>Le transfert de technologie</u>**

En plus des canaux bilatéraux et multilatéraux de l'aide publique au développement, et des renforcements de capacité, la France est également engagée dans de nombreux projets et forums internationaux qui génèrent une coopération technologique de grande ampleur avec une multitude d'acteurs. Cette coopération s'entend comme un transfert au sens large de savoir-faire, de méthodes, ou d'outils, nécessaires à la mise en œuvre des technologies de la transition bas-carbone et résiliente.

Les dernières années ont été marquées par une évolution rapide du contexte technologique. On a vu se développer et se déployer à grande échelle des filières bas-carbone, particulièrement dans le secteur des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Dans le cadre de la mise en œuvre de l'Accord de Paris, une grande partie des CDN préparées par les pays mentionnent l'importance des technologies climat pour la mise en œuvre des objectifs fixés.

**Au plan bilatéral,** la coopération passe notamment par des coopérations stratégiques dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

Dans cette phase de mise en œuvre des politiques publiques, le secteur privé et la coopération décentralisée jouent un rôle particulièrement important en tant qu'acteurs opérationnels développant sur le terrain les capacités nécessaires à implanter les projets bas-carbone et portant ces transferts de technologie. Les entreprises et collectivités françaises sont particulièrement actives en la matière et développent des projets aussi bien matures qu'innovants dans un nombre grandissant de pays.

Bien que le groupe AFD n'ait pas comme mandat de favoriser le transfert de technologies, le Groupe promeut, au sein même de ses projets, le recours à des technologies et expertises adaptées aux réalités locales, en particulier dans les domaines des énergies renouvelables, de l'efficacité énergétique et de l'agriculture durable. Par exemple, dans le cadre de projets d'infrastructures énergétiques, l'AFD aide ses partenaires à mettre en place des technologies de production d'énergie solaire ou éolienne. L'AFD soutient également la mise en œuvre de technologies vertes et innovantes, comme des systèmes de gestion de l'eau ou des solutions de mobilité durable, en assurant une formation continue et des services d'accompagnement technique pour garantir que ces technologies soient efficacement intégrées et maintenues à long terme.

**Sur le plan multilatéral**, la coopération technologique de la France se fait au travers des grands partenariats énergétiques internationaux, comme l'Agence internationale de l'énergie (AIE), et notamment au sein de la plate-forme internationale de l'AIE sur les technologies sobres en carbone établie en octobre 2010, la CEM (Clean Energy Ministerial) ou encore l'IPEEC (International Partnership for Energy Efficiency Cooperation). La France apporte également une contribution forte à l'IRENA (International Renewable Energy Agency), qui a une vocation forte d'appui aux pays. Par ailleurs, dans le cadre de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et de l'accord de Paris sur le climat les transferts de technologie et le partage d'expériences sur les technologies climat sont mis en avant. Un Mécanisme technologique a été créé en 2010 pour soutenir les transferts de technologies en appui à l'atténuation et à l'adaptation au changement climatique vers les pays en développement. La France contribue aux travaux des deux instances créées sous ce Mécanisme, le Climate Technology Center & Network (CTCN) et le Technology Executive Committee (TEC). Les travaux du PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) ou de la FAO (Food and Agriculture Organisation) favorisent aussi le partage d'expérience et d'outils utiles à la transition bas-carbone.

La coopération technologique telle que représentée dans la table ci-dessous doit être comprise au sens large, et intègre notamment des transferts de savoir-faire, de méthodes, ou d'outils, nécessaires à la mise en œuvre des technologies de la transition bas-carbone. Le tableau ici présenté n'a aucune vocation à être exhaustif, mais vise plutôt à montrer via quelques exemples comment les secteurs publics et privés français se sont saisis de la question à tous les niveaux. Ceci permet de générer une coopération technologique de grande ampleur allant au-delà des canaux bilatéraux et multilatéraux classiques de l'aide publique au développement.

**Accompagnement de la coopération technologique des acteurs opérationnels**

L'Agence de la transition écologique, ADEME, accompagne le développement et le déploiement de technologies climatiques en France. Cet accompagnement est parfois complété par un appui à la coopération international des acteurs.

En 2022 et 2024 deux appels à projets ont permis d'accompagner la coopération internationale des acteurs porteurs de solutions climatiques dans les secteurs de l'adaptation au changement climatiques, la géothermie le bâtiment et la construction, la mobilité durable.

Dans le secteur des énergies durables l'ADEME a animé, en partenariat avec le Syndicat des Energies Renouvelables, un groupe de travail des acteurs de l'accès à l'énergie renouvelable hors réseau. Ce travail a permis de développer une approche commune pour accélérer l'accès des Pays en développement à des services énergétiques durables hors réseau, publiée dans un Livre Blanc en 2020. L'ADEME est actuellement partenaire du programme européen « Digital Energy Facility » pour le déploiement international des énergies renouvelables électriques, mis en œuvre par l'Agence française du développement.

Mesures et activités liées au transfert de technologies

| Pays ou region récipiendaire | Objectif | Mesures et activités liées au transfert de technologie | Secteur | Provenance du financement | Activités entreprises par : | Status | Informations complémentaires |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Afrique | Atténuation | Appel à projets ADEME 2019 : Accès à l'énergie renouvelable pour les populations hors réseau. Gestion ADEME. | Energie | Agence française du développement. Gestion ADEME. | entreprises | En cours | Accompagnent financier de projets d'accès à l'énergie renouvelable hors réseau |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Monde | Atténuation et adaptation | Appui à l'Alliance Mondiale pour les Bâtiments et la Construction (GlobalABC) | Bâtiments et construction | Ministère de la transition écologique. Appui financier et expertise ADEME. | entreprises | En cours | Appui ADEME à l'Alliance Mondiale pour les Bâtiments et la Construction (GlobalABC) : co-présidence du groupe de travail sur l'adaptation au changement climatique, contribution aux réflexions sur la sobriété, financement d'opérations phares au Sénégal et au Vietnam pour des bâtiments bioclimatiques et bas-carbone en climats chauds et tropicaux. |
| Monde | Adaptation | Appel à projets ADEME 2022 | Multi-secteur | ADEME | Acteurs opérationnels sectoriels (entreprises, collectivités, ONG) | En cours | Soutien à la contribution françaises dans des réseaux internationaux, notamment en vue d'y renforcer la prise en compte de l'adaptation au changement climatique. |
| Monde | Atténuation et adaptation | Appel à projets ADEME 2024 | Multi-secteur | ADEME | Acteurs opérationnels sectoriels (entreprises, collectivités, ONG) | En cours | Soutien à la contribution françaises dans des réseaux internationaux de coopération technologique ex. ; géothermie, adaptation. |
| Pays en développement éligibles à l'aide publique au développement | Atténuation et adaptation | L'objectif de la facilité FISP-Climat est de promouvoir les innovations dans le secteur du changement climatique, portées par les acteurs privés. | Energie | FFEM | Entreprises privées du Nord comme du Sud | Appels à projets en 2015, 2016 et 2018 | Pour chaque appel à projets environ 5 projets sont retenus. Parmi les projets actuellement réalisés et opérationnels, il y a la production d'électricité à partir de centrales gazogènes utilisant de la balle de riz et des déchets de bois au Cambodge, la collecte et la combustion de paille de canne à sucre pour la production d'électricité dans des centrales de cogénération charbon/bagasse à Maurice, la réalisation d'une unité de dessalement solaire d'eau de mer sans batterie à Maurice. |

**<u>Autres informations pertinentes pour le changement climatique</u>**

***Politique nationale en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre***

***a) Les objectifs actuels de la France en matière de climat et d'énergie***

La France **mène depuis le début des années 2000 une politique énergétique et climatique pour réduire ses émissions**, et s'est déjà fixée de nombreux objectifs, à différents horizons temporels, en matière de réduction des émissions de GES, de réduction de consommation d'énergie, de développement des énergies renouvelables ou encore de diversification du mix électrique.

La France s'est notamment fixée dès juillet 2017[50], en lien avec son engagement pris lors de l'Accord de Paris**, l'objectif d'atteindre la « neutralité carbone »[51] dès 2050**.

**Les engagements et objectifs actuels de la France sur l'énergie et le climat** se structurent principalement autour de la Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) promulguée en août 2015, de la Loi relative à l'énergie et au climat promulguée en novembre 2019, de la Loi portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets promulguée en août 2021, de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC 2 en vigueur adoptée en avril 2020) et de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE 2 en vigueur adoptée en avril 2020). Ils **tiennent compte des objectifs européens en vigueur au moment de leur élaboration**, en particulier en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre (-40% en 2030 par rapport à 1990), de réduction de consommation d'énergie (32,5% d'efficacité énergétique en consommation finale en 2030 par rapport à 1990), ou de développement des énergies renouvelables (32% d'énergie renouvelable dans la consommation finale d'énergie en 2030).

Ces lois et documents encadrent l'action conjointe des citoyens, des entreprises, des territoires et de l'Etat.

**Ces objectifs sont en cours de révision en cohérence avec les nouveaux objectifs du Gouvernement pour la transition énergétique et climatique et avec le rehaussement de l'ambition climatique européenne.**

***b) La Stratégie nationale bas-carbone.***

**Créée en 2015[52], la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC)** constitue l'outil de planification de la France pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'ensemble des secteurs**.**

**Cette feuille de route comprend :**

- **Un objectif de long terme :** atteindre la neutralité carbone en 2050 et réduire l'empreinte carbone des Français (en tenant compte des émissions importées) ;
- **Une trajectoire pour y parvenir :** chemin crédible de baisse des émissions de GES vers l'objectif de long terme (scénario de référence), fondé sur un ensemble de mesures et d'hypothèses ;
- **Des budgets carbone (adoptés par décret)** : il s'agit de plafonds d'émissions de gaz à effet de serre à ne pas dépasser par période de 5 ans (déclinés par secteurs d'activité et par gaz à effet de serre). **Les budgets carbone actuels couvrent la période 2019-2033 ;**

| Émissions annuelles moyennes (en Mt $CO_{2e}$) | 2ème budget carbone (2019-2023) | 3ème budget carbone (2024-2028) | 4ème budget carbone (2029-2033) |
|---|---|---|---|
| Période | 2019-2023 | 2024-2028 | 2029-2033 |
| Total hors UTCATF | 422 | 359 | 300 |

*Source : MTE-DGEC, https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGIARTI000041815681/2020-04-24/*

- **Des mesures et orientations de politiques publiques pour atteindre ces objectifs.**

La SNBC traduit juridiquement l'engagement de la France en matière de décarbonation, vis-à-vis de ses obligations internationales (notamment dans le cadre de la contribution déterminée au niveau national à l'Accord de Paris de l'Union Européenne). La SNBC est un document conforme à la décision 1/COP16 de Cancun qui a incité, en 2010, chaque pays développé Partie à la CCNUCC à se doter d'une stratégie de développement à faible intensité de carbone (ou stratégie bas-carbone) devant présenter et évaluer les orientations et mesures contribuant à l'atteinte des objectifs nationaux de long terme en matière d'atténuation du changement climatique et aux dispositions de l'article 4, paragraphe 19 de l'Accord de Paris.

Une fois adoptée, la SNBC s'impose à l'État, aux collectivités territoriales et aux établissements publics[53] et aux acteurs économiques[54]. Le Haut Conseil pour le climat établit par ailleurs annuellement un rapport portant sur le respect de la trajectoire de baisse des émissions de gaz à effet de serre (et notamment des « budgets carbone » de la SNBC) et sur l'adéquation des politiques et mesures déployées par l'État vis-à-vis de l'ambition climatique de la France.

La version en vigueur (SNBC 2) a été adoptée **par décret** en avril 2020. **Elle vise à réduire, conformément aux engagements internationaux de la France au moment de son élaboration, d'au moins 40 % les émissions brutes (hors secteur des terres et forêts)**

[50] Cet objectif a ensuite été inscrit dans le Code de l'énergie (Article L. 100-4) par la loi n°2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat.
[51] Le terme neutralité carbone est celui employé au niveau législatif (Article L.100-4 du Code de l'énergie). Il renvoie bien à la neutralité climatique (c'est-à-dire incluant tous les gaz à effet de serre).
[52] La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) a été instituée par la loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.
[53] En application de l'article L.222-1B du Code de l'environnement.
[54] En application de l'article 301 de la loi climat et résilience.

**de GES de la France en 2030 par rapport à 1990, et d'atteindre la neutralité carbone en 2050**. Elle met à contribution l'ensemble des secteurs émetteurs de gaz à effet de serre. Elle compte 45 orientations de politiques publiques. Ces orientations ont été, au cours des dernières années, progressivement traduites par des textes législatifs structurants, engageant des évolutions de long terme dans chaque secteur émetteur de GES en France : Loi d'orientation des mobilités en 2019[55], Loi anti-gaspillage pour une économie circulaire en 2020[56], Loi portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets en 2021[57], Loi relative à l'accélération des procédures liées à la construction de nouvelles installations nucléaires à proximité de sites nucléaires existants et au fonctionnement des installations existantes[58], la loi relative à l'Industrie verte en 2023[59] .

***c) Retour sur la trajectoire passée***

Les émissions de gaz à effet de serre de la France **baissent globalement depuis 2005 avec une accélération de cette baisse au cours des dernières années**.

**La comparaison des émissions de la France (sur la base des inventaires les plus à jour) au budget carbone de la période considérée est un indicateur clé du suivi de la mise en œuvre de la stratégie.**

Le premier budget carbone[60] de la SNBC 1[61] (SNBC 1 adopté par décret en novembre 2015), portait sur la période 2015-2018. Il s'élevait à 442 Mt $CO_2$ eq par an en moyenne, hors émissions et absorptions associées à l'usage des terres et à la foresterie. Ce premier budget carbone a été dépassé de 61 Mt $CO_2$eq cumulées sur la période 2015-2018 (soit +3,4 % sur l'ensemble de la période).

En 2017, la France s'est dotée de l'objectif de neutralité carbone[62] pour 2050, conformément à l'engagement de l'Accord de Paris : cela signifie qu'en 2050, la France devra atteindre un équilibre, sur le territoire national, entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions par les puits de gaz à effet de serre, et ce sans utilisation de crédits carbone internationaux. La SNBC, révisée en 2020 (SNBC 2) a intégré cet objectif et a fixé des budgets carbone pour les périodes 2019-2023, 2024-2028 et 2029-2033 en cohérence avec cette nouvelle ambition.

L'année 2023 marque la fin du deuxième budget carbone de la France (période 2019-2023). Le bilan définitif de ce budget carbone sera dressé en 2025 sur la base des données d'inventaires actualisées, mais un premier solde provisoire peut être dressé sur la base de la pré-estimation relative à 2023 du Citepa.

Le **budget carbone de la SNBC 2 pour la période 2019-2023 en brut (420 Mt $CO_2$eq / an en moyenne[63]) devrait être respecté (selon la pré-estimation relative à 2023 du Citepa[64])** : les émissions ont atteint 429 Mt $CO_2$eq en 2019, sont descendues à 389 Mt $CO_2$eq en 2020 (principalement à cause de la crise du Covid-19), sont remontées à 412 Mt $CO_2$eq en 2021, sont redescendues à 396 Mt $CO_2$eq en 2022 puis à 373 Mt $CO_2$eq en 2023 sur la base des dernières estimations du Citepa (Secten 2024). **Ainsi, pour l'instant, sur la période 2019-2023, la moyenne annuelle des émissions brutes est estimée à 400 Mt $CO_2$eq. Les moindres émissions estimées à - 100 Mt $CO_2$eq cumulées sur la période 2019-2023**, permettent de compenser le non-respect du premier budget carbone[65].

***d) Une accélération de l'action climatique nationale traduite par les travaux en cours en matière de planification écologique***

La loi prévoit la **révision de la SNBC** tous les cinq ans, ce qui permet de prendre en compte les incertitudes inhérentes à cette planification en intégrant au fur et à mesure les résultats et évolutions observés.

[55] https://www.legifrance.gouv.fr/dossierlegislatif/JORFDOLE000037646678/
[56] https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041553759/
[57] https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924
[58] https://www.legifrance.gouv.fr/dossierlegislatif/JORFDOLE000046513775/
[59] https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000048242288/
[60] Plafonds d'émissions de GES à ne pas dépasser
[61] Décret n° 2015-1491 du 18 novembre 2015 relatif aux budgets carbone nationaux et à la stratégie nationale bas-carbone
[62] L'objectif climatique français est celui d'une « neutralité climat », tout GES, bien que nous utilisions par abus de langage le terme « neutralité carbone »
[63] Le Code de l'environnement (Article D. 222-1-B) prévoit la réalisation d'un ajustement technique des budgets carbone pour chaque période si les changements de méthodologie des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre conduisent à des modifications de plus de 1% des valeurs des années de référence ayant servi pour les scénarios de la SNBC (1990, 2005 et 2015). Ces ajustements « techniques » ont vocation à conserver la cohérence de la trajectoire initialement retenue, en maintenant les mêmes réductions sectorielles et par gaz en « valeur relative » par rapport à l'année 2005. Le code prévoit que cet ajustement technique ait lieu au moment de la clôture du budget carbone (le bilan définitif du budget carbone 2019-2023 sera dressé en 2025 sur la base des données d'inventaires actualisées (Secten 2025)). Néanmoins, pour conserver annuellement la cohérence avec la trajectoire initialement retenue dans la SNBC, les budgets carbone peuvent également être ajustés, à titre indicatif et provisoire, au cours d'une période, au regard des évolutions méthodologiques de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre. **Les budgets carbone annuels indicatifs de la deuxième période, ont été ajustés au regard de l'inventaire national 2024 des émissions de gaz à effet de serre du Citepa (Secten 2024).**
[64] Inventaire Citepa, Secten 2024
[65] Le tribunal administratif de Paris a considéré, sur la base de l'analyse des émissions de GES au premier trimestre 2023 que la réparation du préjudice écologique lié au dépassement du premier budget carbone de la SNBC 1 était complète. http://paris.tribunal-administratif.fr/Actualites-du-Tribunal/Espace-presse/L-Affaire-du-Siecle-la-reparation-du-prejudice-ecologique-bien-que-tardive-est-complete

Dans ce contexte, le gouvernement travaille depuis 2021 à l'élaboration de la troisième édition de cette stratégie. Cette troisième édition devra traduire une accélération sans précédent de notre action climatique, en cohérence avec le rehaussement de l'ambition climatique européenne.

En particulier, la troisième édition de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC 3) devra permettre d'atteindre l'objectif de réduction de nos émissions brutes de gaz à effet de serre qui a été rehaussé à -50% entre 1990 et 2030 (contre -40% pour la SNBC 2), en cohérence avec le pacte vert européen.

La préparation de cette future stratégie s'inscrit dans le chantier de « **planification écologique** » engagé par le Président de la République. Elle s'articule avec les travaux en cours de préparation des futurs PPE (Politique Pluriannuelle de l'Énergie) et PNACC (Plan National d'Adaptation au Changement Climatique), dans l'optique de disposer pour les années à venir d'une politique climatique et énergétique systémique, ambitieuse et opérationnelle.

**L'enjeu de la SNBC 3 est de poursuivre dans la durée les baisses d'émissions de gaz à effet de serre,** en définissant le chemin pour réussir collectivement à réduire nos émissions, notre empreinte et nous projeter dans un monde habitable, juste et désirable.

La mise à jour du Plan national intégré énergie-climat, transmise début juillet 2024 à la Commission européenne, était fondée sur les versions à date du projet de SNBC 3. **Les travaux de préparation de cette SNBC 3 se poursuivent au niveau national (concertation préalable entre novembre et décembre 2024, nouvelle modélisation à venir début 2025, etc.), dans l'optique de disposer d'une version finale de ce document d'ici fin 2025.**

***Stratégie et planification de l'adaptation au changement climatique au niveau national***

L'adaptation de notre territoire au changement climatique est également un enjeu majeur qui doit être envisagé comme un complément désormais indispensable aux actions d'atténuation déjà engagées. Le début de l'action de l'État dans le domaine de l'adaptation au changement climatique a commencé en 2001 avec la création de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc), qui possédait une mission explicite sur l'adaptation au changement climatique, et qui a laissé la place en juillet 2023 au Bureau de l'adaptation au changement climatique, dont la mission est de coordonner la politique française en matière d'adaptation. Dans la continuité de l'adoption de la Stratégie nationale d'adaptation en 2006, le premier Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) a été adopté en 2011. Un deuxième Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-2 a été adopté en 2018. Son objectif était de mieux protéger les Français face aux événements climatiques extrêmes, mais aussi de construire la résilience des principaux secteurs de l'économie (agriculture, industrie, tourisme) face au changement climatique.

L'élaboration du troisième plan national d'adaptation au changement climatique a fait l'objet d'un travail concerté avec les différentes parties prenantes (services de l'Etat, représentants de collectivités, d'entreprises et d'associations) entre septembre 2023 et novembre 2024. Il a été soumis à consultation publique entre le 25 octobre et le 27 décembre 2024. Son adoption définitive est prévue au printemps 2025. Le PNACC-3 devrait comprendre une cinquantaine de mesures à mettre en place d'ici 2030 et organisées autour de 5 axes qui visent à apporter des solutions aux particuliers, aux collectivités et au monde économique, afin d'adapter la France à un réchauffement De 2°C en 2030, 2,7°C d'ici 2050 et de 4°C d'ici la fin du siècle : c'est la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC), adoptée en 2023, qui permettra de guider l'ensemble des efforts d'adaptation au niveau national et local.

Au niveau régional et local, les politiques d'adaptation sont déclinées dans les schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires, les Schémas régionaux climat air et énergie et les Plans climat air énergie territoriaux qui doivent également posséder un volet adaptation.

# Annexe 9

## Prise en compte des revues

## Revue de la CCNUCC

| CRT category / issue | Review recommendation | Review report / paragraph | MS response / status of implementation | Reason for non-implementation | Chapter/ section in the NIR |
|---|---|---|---|---|---|
| General Other (G.5, 2021), (G.7, 2019), (G.13, 2017) Convention reporting adherence | Provide in the NIR the likely level of emissions for each category reported as "NE" on the basis of the judgment that France considers the emissions for the categories to be insignificant, in order to demonstrate that the total national aggregate of estimated emissions for all gases and categories considered insignificant remains below 0.1 per cent of the national total GHG emissions in accordance with paragraph 37(b) of the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines. Not resolved. The Party explained in its NIR (section 1.7, pp.92–93) for all categories and subcategories reported as "NE" the reasons for this reporting, which the ERT considers to be consistent with the requirements for using this notation key. However, the Party did not provide a numerical estimate of the likely level of emissions for any of the categories or subcategories considered to be insignificant. The ERT notes that, for most of these categories and subcategories, the 2006 IPCC Guidelines do not provide methodological guidance, or the related emissions are not part of the national total GHG emissions. The ERT considers that this recommendation has not been addressed because the Party has not demonstrated through a numerical estimate that the categories and subcategories considered to be insignificant, and for which the 2006 IPCC Guidelines provide methodological guidance, comply with the requirements of paragraph 37(b) of the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines. | 2022 Review ARR / G.4 | Not yet implemented. | That would require to be able to estimate "not estimated" sources which is especially difficult and generally the reason why it is "not estimated" | |
| Agriculture 3.A.1 Cattle–CH4 (A.8, 2021) Transparency | In the NIR analyse and discuss in detail the low energy intake values in the French model and justify the variation in the data collected by Devun et al. (2015), their representativeness for French cattle farming conditions, and the quality of feed and its conversion into metabolized energy. *The CH4 emission from enteric fermentation from cattle (3.A) is based on the French feeding system where feed consumption data is collected for different livestock categories from different areas in France (Devun et al., 2015, Alimentation des bovins, rations moyennes et niveaux d'autonomie alimentaire). These data are reported in kg dry matter head-1 yr-1 and combined with a French model for CH4 emission from enteric fermentation (Sauvant et al., 2011). In the NIR Tables 97, 98 and 99 France has estimated the energy intake and the emissions from the different livestock categories estimated with the French model and the outcome if the model in the 2006 IPCC Guidelines were used. The 2006 IPCC Guidelines generally recommends the American NCR model. This model is based on the net energy intake (NEI) by the ruminants, whereas the French feeding system is based on feeding units and metabolized energy (ME). In general, the French modelling approach shows a 10-15 per cent lower energy intake than when using the 2006 IPCC Guidelines methodology. The rationale for this difference is not analysed and discussed in the submission.*<br>Not resolved. The Party reported in its NIR (section 5.2.2, pp.511–513) the equations and parameters used to estimate the EFs used in calculations on the basis of a countryspecific method. The different values of those parameters (e.g. live weight, milk yield, composition of grass forages and their metabolizable energy content) are the drivers of the differences in the EFs between cattle subcategories. As justification of the representativeness of feed data for French cattle farming conditions, the Party included in the NIR (section 5.2.2, p.511) an extract from the publication "Alimentation des bovins: rations moyennes et autonomie alimentaire" (CIV, 2012). However, it was unclear from this extract whether both large- and small-scale farms were covered in the study undertaken for this publication. During the review, the ERT asked the Party whether the live weight and diet of cattle are representative of both large-scale commercial farms and small farms/households and whether seasonal changes in diet are | 2022 Review ARR / A.1 | Partially implemented.<br>The methodology for dairy cattle has been revised for the 2025 submission. These new results are compared to the IPCC tier 2 method, according to the 2019 refinement guidelines.<br>For other cattle : since the NIR submission 2023, we updated the comparison we conduct with the IPCC tier 2 method, according to the 2019 refinement guidelines.<br>However, we still need more time to analyse and discuss in detail the difference observed for inclusion in the NID.<br>Regarding the variation in the data collected by Devun et al. (2015), and the quality of feed and its conversion into metabolized energy, we assumed that the information already provided in the NIR | Analysis and discussion on the difference observed need time and detailed investigations. | NIR 5.2.4 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | considered. The Party indicated that the information on live weight of cattle presented in table 97 of the NIR (p.511) are taken from the MONDFERENT project (a study on CH4 emissions for cattle in France), which indicates that the live weight data developed by the National Research Institute for Agriculture, Food and Environment (INRAE) are representative of the national farming conditions. As regards diet, the Party replied that data on feeding rations are collected from livestock networks and tracked in a dedicated database (Diapason) for the whole year, and seasonal changes in diet structure are therefore considered. Further, based on the publication by CIV, although the size of the farms covered is often above average, feeding practices are still representative of relevant regions. On the basis of the responses provided by the Party, the ERT considers that the representativeness of the data on live weight and feed for French cattle farming conditions has been justified and there is no potential underestimation of emissions in that respect. However, the ERT considers that the recommendation has not yet been addressed because the Party has not analysed and discussed in detail in the NIR (table 104, p.523) the low energy intake values (up to 52 per cent) for most cattle subcategories when using the country-specific method compared with the IPCC tier 2 method, the variation in the data collected by Devun et al. (2015), and the quality of feed and its conversion into metabolized energy. | | was sufficient as we included an abstract explaining that the farms considered are representative of the diversity of French farming systems. We also provided a table that presents the main characteristics retained for the main feed encountered. | | |
| Agriculture 3.B Manure management – CH4 and N2O (A.3, 2021), (A.19, 2019) Accuracy | Implement data-collection efforts that allow for the separate reporting of data on the allocation of manure subject to composting by climate region and the methane conversion factor, Nex for composting and N2O emissions associated with the composting MMS, noting that this would improve the accuracy and comparability of the inventory. Not resolved. The ERT noted that data-collection efforts allowing for the separate reporting of data on the allocation of composted manure and the methane conversion factor, Nex and N2O EF have not been undertaken by the Party, as it did not report separately data and emissions related to composting. The ERT further noted that no information was provided in the NIR or in the CRF tables on the allocation of composted manure. During the review, the Party indicated that there is still little information on manure composting in France and, as such, it will not be feasible for the Party to report separately data and emissions related to composting, at least in the near future. France also clarified that composting is accounted for under solid storage and possibly some other systems. The ERT is of the view that such an approach to the allocation of composting MMS is not in line with the definitions of MMS provided in the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, chap. 10, table 10.18, p.10.49). The ERT considers that the recommendation has not yet been addressed because the Party has not collected data related to composting of manure or estimated and reported the related CH4 and N2O emissions separately from other MMS, and it concluded that although this issue has not been resolved, it does not represent an underestimation of emissions as composting is mainly accounted for under solid storage. | 2022 Review ARR / A.2 | Not implemented, but on going improvement process. New leads have been provided during the agriculture french group on inventories that still need further investigation. Depending on the structure and precision of the available new data, we'll evaluate the possibility to integrate it in a future inventory and issue a planning then.However, we included new information in the NID regarding the allocation of composted manure. | The separate reporting of data on composting for manure management has not been implemented . There is still little information on manure composting in France and, as such. It is an issue of feasibility at least in the near future. | NIR, section 5.3.2, paragraph "Le paramètre SG" |
| LULUCF Land representation – CO2 and N2O (L.7, 2021), (L.12, 2019) (L.33, 2017) Accuracy | Identify land representation of croplands accurately in order to report emissions/removals taking into account the 20-years transition period for land conversions. In doing so, depending on available resources, consider (1) improving the spreadsheets for allocation of the known total organic soils area across all relevant land-use subcategories; or (2) linking land use and soils by implementing approach 3 for land representation provided in the 2006 IPCC Guidelines through enhanced use of TERUTI-LUCAS (http://agreste.agriculture.gouv.fr/enq uetes/territoire-prix-des-terres/teruti- lucas-utilisation-du/) spatial features (e.g. either rely on TERUTI- LUCAS soil information or match its spatial grid with (organic) soils map and derive grid plots where organic soils occur, then improve the land-use conversion matrix with this information). Not resolved. The Party indicated in the NIR (p.626) that this issue has not yet been addressed. However, during the review, the Party also indicated that the new land-use monitoring approach to be implemented for the 2023 annual submission | 2022 Review ARR / L.4 | Partially implemented. The new land-use monitoring approach has been implemented, it allows a direct linking between land use areas and information on soils. For the 2025 edition, a new map was used to identify the organic soils, and it was crossed with the land use products to better specify the drained areas, and avoid | A lot of efforts have been put to implement a new spatially-explicit approach for tracking land-use change areas. A new organic soil map has been used and crossed with the land use monitoring to be consistent. Some other items remains to be improved | NIR 6.3.1 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | will allow direct linking between land use and soil information through enhanced use of spatial features from the TERUTI-LUCAS survey. | | double accountings. However, the work is still ongoing to have a better reporting of activity data of organic soils when conversions occur. | or implemented such as the link of this new land use areas monitoring and organic soil mapping during conversions. | |
| LULUCF 4.D. Wetlands – CO2 and N2O (L.22, 2021), (L.23, 2019) (L.26, 2017) (L.32, 2016) (L.32, 2015) Accuracy | Either report information to demonstrate that the methodology used to estimate carbon stock changes in land converted from and to wetlands produces more accurate and/or precise estimates than the IPCC methodology (2006 IPCC Guidelines, vol. 4, equation 2.26) or apply the IPCC methodology for estimating GHG emissions and removals from drained (wetlands converted to other land uses) and rewetted (other land uses converted to wetlands) organic soils. Not resolved. In the NIR (section 6.7, p.692) France did not report information to demonstrate that the methodology used to estimate carbon stock changes in land converted from and to wetlands produces more accurate estimates than the IPCC methodology. Additionally, France did not apply the IPCC methodology for estimating GHG emissions and removals from drained and rewetted organic soils. The Party reported in the NIR (section 6.7.2.2, p.696) that, owing to difficulties in characterizing wetland soils, soil carbon fluxes on land converted to wetlands were neglected and not estimated. During the review, the Party explained that its current land-use monitoring approach does not allow for accurate tracking of changes in organic soils for wetlands, but that this might improve with the upcoming new spatially explicit system that the Party is planning to implement in the future. | 2022 Review ARR / L.13 | Partially implemented. A new cartographic product is used to detect flooded areas and areas of water (BD TOPAGE, from IGN). The surface area of wetlands (IPCC definition) has therefore been improved. Moreover, a new map is used to specify organic soils, and has been crossed with the land use products. It has helped to improve estimates of drained areas in cropland and wetlands. Further developments is required to make better use of this map in the reporting of organic soils within the wetlands category. | Lots of efforts have been put to implement a new spatially-explicit approach for tracking land-use change areas, and to link them with the presence of organic soils. Drained organic soils in cropland and grassland have been improved, but some other items remains to be precised such as emissions and removals due to wetlands subcategories / drained and rewetting of wetlands. Emissions due to peat extraction have been implemented for the 2025 submission. | |
| LULUCF 4.B.1 Cropland remaining cropland – CO2 (L.22, 2021), (L.35, 2019) Accuracy | Distinguish between perennial and annual crops in the area data for its overseas territories, using, in the absence of country-specific information, default carbon stock change factors from tables 5.1–5.3 of the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4). Not resolved. France reported in the NIR (section 6.3.1, p.615) that a carbon stock change factor of 10 t C/ha was used for all crops in the overseas territories, except for Reunion, where the forest biomass stock value is very low (5 t C/ha), and that the estimated value for stocks outside forest land is 0 t C/ha. The ERT noted that perennial and annual crop areas are not distinguished for overseas territories. During the review, the Party clarified that it has not yet addressed this issue because perennial and annual crop areas are not distinguished in data available for overseas territories. However, in the next few years, it plans to develop a new spatially explicit approach for monitoring land-use change that distinguishes between annual and perennial cropland (and between vineyards and other perennial crops). This approach, which has been tested in mainland France, will be applied for the overseas territories, and for fruit trees in particular. Further information on the new approach will be reported in the 2023 annual submission. | 2022 Review ARR / L.8 | Not yet implemented | Lot of efforts have been put to continue the implementation of the spatially-explicit approach for tracking land-use change areas. Some other items remains to be improved or implemented such as precision in overseas land use categories, during 2025 tests will be carried out to deploy the spatially explicit land use method overseas. | |
| LULUCF 4.G HWP – CO2 (L.24, 2021), | Provide information in the NIR on the HWP in SWDS, namely, whether the emissions/removals are significant; if they are insignificant, “NE” can be reported, but if they are significant, AD should be collected and tier 1 data, consistent with the | 2022 Review ARR / L.15 | Not yet implemented | Not yet planned to investigate on this item for | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| (L.39, 2019) Transparency | waste sector, used for calculating the estimates Not resolved. The ERT noted that France did not provide information in the NIR on the significance of CO2 emissions and removals for HWP stored in SWDS and continued to report them as "NE" in CRF table 4.G (sheet 1) under approach B. During the review, the Party clarified that it is not planning to address this issue yet. | | | the next submission. | |
| Waste 5.A.1 Managed waste disposal sites – CH4 (W.15, 2021) Transparency | *The Party reported in its NIR (p. 682) their procedure to quantify methane recovery. The ERT noted that Eurostat data on energy generation from landfill gas might be used to validate the reported amount of gas used for energy recovery from the CRF-tables. A first comparison of both resulted a fair agreement : see Table: CH4 energy recovery from CRF-Tables, compared to Eurostat.* Report in the NIR on the results of a comparison of CH4 for energy recovery estimates reported in the CRF table 5.A and Eurostat data (or data from another independent source) as a verification procedure, including any consequent improvement measures that may be necessary to ensure the accuracy of the inventory. Not resolved. The Party did not report in its NIR any results of a comparison of CH4 estimates for energy recovery reported in CRF table 5.A and Eurostat data or any improvement measures that may be necessary to ensure the accuracy of the inventory. The Party reported in its NIR (p.736) that it will initiate discussions with the services of the relevant ministry in order to undertake the comparison. During the review, the Party confirmed that the information provided in the NIR is correct. The ERT considers that the recommendation has not been implemented. | 2022 Review ARR / W.6 | Not implemented. | For now, France did not initiate discussions with the services of the relevant ministry in order to undertake the comparison. | |
| Waste 5.D.1 Domestic wastewater – CH4 (W. 12, 2021), (W. 13, 2019), (W.10, 2017) (W.25, 2016) (W.25, 2015) Accuracy | Follow the decision tree in the 2006 IPCC Guidelines regarding the value for Bo and MCF when estimating CH4 emissions from domestic wastewater. Not resolved. The Party reported in its NIR (p.761) and in CRF table Summary 3 (sheet 2) that it used IPCC default values for Bo and the methane correction factor for estimating CH4 emissions from domestic wastewater. The ERT notes that CH4 emissions from domestic wastewater were identified as a key category, both in the level and trend assessments. The ERT also notes that the 2006 IPCC Guidelines provide guidance in a decision tree (vol. 5, chap. 6, figure 6.2, p.6.10) regarding the choice of values for Bo and the methane correction factor, which the Party did not follow for its calculations. During the review, the Party clarified that there are currently no country-specific data available for the methane correction factor and Bo and it is in the process of developing the values. The ERT notes that the use of IPCC default values for Bo and the methane correction factor does not lead to an underestimation of emissions. | 2022 Review ARR / W.10 | Not implemented. | France does not have country specific values for MCF and B0. | |
| **Additional findings made during the individual review of the 2022 annual submission of France** | | | | | |
| Energy 1.B.1.b Solid fuel transformation – solid fuels – CH4 | The Party reported a constant CH4 IEF of 0.18 kg/t for subcategory 1.B.1.b solid fuel transformation in CRF table 1.B.1 for 1990–2006. For 2007 to 2020, the ERT noted inter-annual changes in the CH4 IEF for this subcategory. For example, a significant inter-annual change was reported between 2010 and 2011, when the CH4 IEF decreased from 0.22 to 0.07 kg/t. Between 2011 and 2019, the CH4 IEF remained in the range of 0.05–0.09 kg/t but increased between 2019 and 2020 from 0.06 to 0.27 kg/t. During the review, the Party clarified that the sharp increase in the CH4 IEF between 2019 and 2020 was caused by a malfunction due to a defect in the insulation of a coke oven, which led to an increase in CH4 emissions and in the corresponding CH4 IEF. In accordance with the information in the NIR (section 3.3.1.2.2, p.275) the decrease in the CH4 IEF between 2010 and 2019 was probably due to a change in the methodology used to estimate CH4 emissions, using regulatory measurements instead of the tier 2 methodology previously applied. The ERT considered that this latest methodological change in the reporting of emissions might not have been addressed properly in accordance with the 2006 IPCC Guidelines (vol. 1, chap. 5.3.3, pp.5.8–5.14) because appropriate splicing techniques were not considered and applied to minimize possible inconsistencies in the time series. During the review, France clarified that it will further investigate | 2022 Review ARR / E.7 | Not yet implemented. We will further investigate this issue, e.g. by contacting the facility to clarify whether the decrease in CH4 emissions from 2010 onward is due to a change in methodology or other possible reasons related to the process. | We have contacted operators but no additional information explaining the inter-annual changes have been received. We will continue to investigate this issue in 2025. | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | this issue by contacting the facility to clarify whether the decrease in CH4 emissions from 2010 onward is due to a change in methodology or other possible reasons related to the process. The annual CH4 emissions for subcategory 1.B.1.b solid fuel transformation range from 3.75 to 29.75 kt CO2 eq over the entire time series (1990–2020). Therefore, there are no significant over- or underestimations of CH4 emissions for this subcategory (the threshold of significance for France is equal to 196.48 kt CO2 eq). **The ERT recommends that the Party investigate and explain in the NIR the reasons for the significant decrease in the CH4 IEFs for subcategory 1.B.1.b solid fuel transformation reported for 2010–2019 (from 0.22 kg/t to within the range of 0.05–0.09 kg/t) compared with the constant CH4 IEF reported for 1990–2006 (0.18 kg/t). Further, the ERT recommends that the Party, depending on the reasons for the significant decrease identified in the CH4 IEFs, apply appropriate splicing techniques in accordance with the 2006 IPCC Guidelines (vol. 1, chap. 5.3.3, pp.5.8–5.14) to minimize possible inconsistencies in the time series and report, if necessary, revised CH4 emission estimates for the corresponding years.** | | | | |
| IPPU 2.G.1 Electrical equipment – SF6 | The Party reported in its NIR (p.459) that recovery of SF6 emissions occurs in France from recycling and destruction of SF6. France also reported in the NIR (pp.455–466) that SF6 emissions from electrical equipment were estimated on the basis of data provided by ADEME through its national observatory of fluorinated gases, which collects data on recovery, recycling and destruction at decommissioning of electrical equipment. The Party stated in the NIR (p.459) that there is only one company in France that collects SF6 from electrical equipment and that the quantities recovered may vary between years. The ERT noted that France reported recovery of SF6 emissions (for recycling or destruction) as "NO" in CRF table 2(II).B-H (sheet 2) for the entire time series and did not report in the NIR information either on emissions from recycling or destruction activities or on the methodology used to estimate these emissions. As recovery of SF6 is occurring during decommissioning and maintenance of electrical equipment and data on all collected SF6 are provided by ADEME to Citepa, including on the amounts recycled and destroyed, during the review the ERT requested France to provide information on the method used for estimating emissions for category 2.G.1 electrical equipment. In its response, the Party confirmed that SF6 is recovered from electrical equipment in France and clarified that the emissions reported in CRF table 2(II).B-H (sheet 2) are related only to emissions from stock and disposal and do not include emissions from destruction and recycling. France provided a comprehensive explanation of the methodology used to estimate emissions from disposal, which is based on data provided by the destruction and recycling operating plants. France also provided data on the amounts of SF6 destroyed and the destruction factor used, which is based on measurements made and reported by the only one facility and verified by the environmental services od DRIRE (Regional Directorate for Industry, Research and Environment). Emissions from recycling could be estimated using the plant-specific factor of 1.3 per cent, which is very conservative considering that the plant measurements indicate a level of vacuuming which is higher than 98.7 per cent. The missing emissions calculated by the ERT using these parameters amounted to 0.0079 kt CO2 eq for 2020, which is below the threshold of significance for France (equal to 196.48 kt CO2 eq) and, therefore, the ERT did not include this issue in the possible list of potential problems and further questions raised. In response to a question raised by the ERT during the review about whether there are imports of SF6 to be destroyed or recycled by the single recycling and destruction plant operating in France, the Party clarified that there are imports of SF6 for destruction and recycling, according to the information provided by ADC3R (French association of distributors of refrigerant fluids), although the quantities for these activities are not currently reported on GEREP (the French electronic register for pollutant emissions). However, France confirmed that emissions reported on GEREP are based on the | 2022 Review ARR / I.16 | Partially implemented. SF6 emissions from recycling/regeneration in France have been calculated and reported in submission 2023, CRF Table2(II)B-Hs1 (CRF 2B9). More information have been added in the NIR 2023 to describe methodology used. SF6 emissions from destruction still need to be refined and included (even if it represents very low emissions). | France still does not have any information for SF6 emissions from destruction. More time and data is necessary. | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | national rules for reporting activities and emissions from industrial plants, regardless of where the recovered products or waste originated. **The ERT recommends that the Party estimate and report SF6 emissions from SF6 recovery activities (recycling and destruction) in CRF table 2(II).B-H (sheet 2), ensuring consistency for the entire time series for category 2.G.1 electrical equipment and include recovery activities as part of the activities subject to QC procedures. The ERT also recommends that the Party describe in detail in the NIR the SF6 emissions sources for recovery activities (destruction and recycling), including data on SF6 imports for recycling or destruction for the entire time series, and report on the methodology and AD used to estimate SF6 emissions, including all information provided during the review.** | | | | |
| IPPU 2.G.1 Electrical equipment – SF6 | France reported in the NIR (section 4.8.2.1, p.459) on the alternative AD used for the overseas territories in cases where data have not yet been collected to estimate SF6 emissions from electrical equipment. France used a ratio based on total SF6 emissions to total electricity production in mainland France to estimate SF6 emissions in the overseas territories considering the electricity production by territory. During the review, the ERT asked France to explain the rationale for using this ratio (SF6 emissions/MWh), established for mainland France and whether it is considered representative for the overseas territories. The Party confirmed that no information is available on AD and SF6 emissions for the overseas territories, and the ratio based on electricity production in mainland France was applied to the overseas territories for estimating SF6 emissions given that a more accurate method is not currently available. The ERT considers that when using such a ratio, it is assumed that the electrical grid in the overseas territories is comparable to that of mainland France, which might not be the case owing to the different contexts of overseas territories and mainland France. Nevertheless, taking into account this fact, the ERT considers that no significant over- or underestimations of SF6 emissions for this subcategory occurred. The ERT recommends that France use a ratio based on the length of transmission (and/or distribution) lines of the grid or the number of electrical substations for estimating SF6 emissions from electrical equipment in the overseas territories, which is more representative than power generation. The ERT also recommends that France consider the level of maintenance of equipment in the overseas territories compared with the level in mainland France and develop a maintenance factor for equipment in the overseas territories to be applied when estimating SF6 emissions. The ERT further recommends that the Party enhance the accuracy of the estimates by considering the different levels of maintenance of electrical equipment in the overseas territories, and estimate and report SF6 emissions from disposal and recovery in the overseas territories. | 2022 Review ARR / I.17 | Not yet implemented. | This recommandation has not been implemented. More time and data is necessary to implement this recommendation. | |
| Waste 5.D.2 Industrial wastewater – CH4 | The Party reported in its NIR (p.763) the methane correction factor and COD values used for estimating CH4 emissions from industrial wastewater for 2020. The Party highlighted that for shallow natural lagoon-type wastewater treatment plants for the food industry it used a methane correction factor of 0.2 and a COD value of 29.2 per cent provided on GEREP (the French electronic register for pollutant emissions) in response to an encouragement in the 2021 review report (ID# W.19). The Party further reported that owing to a lack of data, the share represented by natural lagoons in the treatment of wastewater from the agri-food industry was assumed to be equal to the share of natural lagoons in wastewater treatment plants. During the review, the Party indicated that related improvements are ongoing and that it will further investigate this issue in order to formulate a hypothesis on the elimination of COD by lagoons and improve the accuracy of the calculation of CH4 emissions. The ERT reiterates the encouragement from the previous review report for the Party to improve its calculation of CH4 emissions from lagoons under category 2.D.2 industrial wastewater by establishing the share of wastewater from the agrifood industry that uses natural lagoons and by estimating the COD values for "in situ" stations for natural lagoons. | 2022 Review ARR / W.14 | Not yet implemented. France need to investigate for more information. | France does not have specific values about the share of wastewater from the agrifood industry that uses natural lagoons and by estimating the COD values for "in situ" stations for natural lagoons. | |

## Revue UE

La revue de l'UE de 2024 a relevé les points suivants, ces points ont fait l'objet de nouvelles questions en février 2025, les réponses intègrent les changements effectués jusqu'à la soumission de mars 2025. Les conclusions de la revue 2025 ne sont pas encore connus.

| **Year of latest EU-internal inventory review:** | **2024** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| FR-3A-2024-0001 | This issue is considered as partly resolved. Therefore, we recommend that you keep on working on the issue and report values for the additional information asked in Table3.As2 in future submissions. | EMRT UE review plateform | Partially implemented. The entire methodology is revised for the 2025 submission for dairy cattle. For other cattle, further investigations is still be needed. France does not apply exactly the methodology proposed by IPCC for a tier 2. Consequently, the parameters expected in the reporting table are not directly used in the calculation of France. Yet we estimated these values on the basis of our own calculation and report them for the 15th of March 2025. | |
| FR-3B-2024-0001 shifted to FR-3B-2025-0001 | This issue is considered as partly resolved. Therefore, we recommend that you keep on working on the issue by further analyzing and completing the data on composting MMS and report any progress on this category in the NIR to improve the accuracy of the data and emissions. | EMRT UE review plateform | Not yet implemented. This issue was raised at the annual expert group on agricultural inventories in France. No data nor research estimate seems to be readily available to date in France on agricultural composting. From a methodological standpoint, the expert group raised the difficulty of categorizing different type of composting (on-field piles, composting platforms, normalization). The national federation on composting (FNCC) was contacted but we did not get answer yet. This will remain a review point for the expert group to track any emerging data regarding composting of manure. | |
| FR-4-2024-0002 | Ongoing improvement plan for the reporting of dead wood carbon pool. Thank you for your reply. Issue closed as partially resolved. It will be followed up next year. | EMRT UE review plateform | Implemented. In the frame of the UE LULUCF regulation, an improved methodology has been used for the dead wood carbon pool for the 2025 submission | NID 2025, LULUCF chapter / recalculation section. |
| FR-4E2-2024-0001 | Wetlands converted to settlements : the observation is closed here as partially resolved and will be followed up next year. | EMRT UE review plateform | Implemented (option 1 of improvement) : activity data and emissions are now consistent within the 2025 submission. Possible further improvement with option 2 later. | CRT 2025, LULUCF tables |
| FR-5C-2024-0001 | Open burning of non-biogenic waste (cars fires and open burning of agricultural plastics.), emissions reported for year 2022 are identical to the values reported for year 2021. Explanation provided, issue partly resolved. | EMRT UE review plateform | Implemented. We think that the TERT noted that emissions are identical between 2023 and 2022. Regarding the amount of green waste burned by households, France uses reports from ADEME (Baromètre environnement) and the percentage of waste burnt by households is identical between 2022 and 2023 in these reports. | |
| FR-5D-2024-0001 | Thank you very much for your reply and additional information provided. We do not have a follow up question. Note that this issue is considered as partly resolved. Therefore, we recommend that you keep on working on the issue and check the implementation of the 2019 Refinement. Indeed, regarding your answer, the F = fraction of the population managing their septic tank in compliance with the sludge removal instruction of their septic system (65% in your example) has to be applied to the parameter Sseptic. So, in the TERT understanding, the organic load that will | EMRT UE review plateform | Implemented. The emissions calculations for "Domestic Wastewater Treatment and Discharge", have been reviewed with a better understanding of the right implementation of the IPCC 2019 refinements, for the 2025 submisison. | NID 2025, waste chapter / recalculation section. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | decompose anaerobically in septic tanks (EQUATION 6.1 (UPDATED)) will be (TOW-S) = TOW x (1-0.5xF) = TOW x 0.675. | | | |

# Annexe 10

# Informations complémentaires relatives à l'UTCATF

Conformément à l'article 26.5 du règlement (UE) 2018/1999 relatif aux déclarations requises au titre du règlement 2018/841 sur l'UTCATF, pour la période 2021-2025 puis 2026-2030 : « en 2027 et en 2032, les États membres communiquent à la Commission, au plus tard le 15 janvier, les données préliminaires et, au plus tard le 15 mars, les données définitives de l'inventaire national qu'ils ont préparées pour leurs comptes UTCATF aux fins des rapports de conformité requis à l'article 14 du règlement (UE) 2018/841 ».

Le rapportage des comptes UTCATF relatifs à ce règlement 2018/841, amendé en 2023 par le règlement 2023/839, est attendu en 2027 pour la première sous-période (2021-2025) et en 2032 pour la seconde sous-période (2026-2030).

En complément des comptes UTCATF, des objectifs méthodologiques sont fixés par le règlement 2018/841, amendé en 2023 par le règlement 2023/839 :

> « ***Pour la période allant de 2021 à 2025****, les États membres utilisent au minimum des méthodes de niveau 1, conformément aux lignes directrices 2006 du GIEC concernant les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, sauf* ***en ce qui concerne un réservoir de carbone qui représente au moins 25 % des émissions ou absorptions dans une catégorie*** *de sources ou de puits qui jouit d'un rang de priorité élevé dans un système d'inventaire national d'un État membre parce que son estimation a une influence significative sur l'inventaire total des gaz à effet de serre d'un pays en ce qui concerne les niveaux absolus d'émissions et d'absorptions, l'évolution des émissions et des absorptions, ou l'incertitude des émissions et des absorptions dans les catégories d'utilisation des terres,* ***auquel cas ils ont recours au minimum aux méthodes de niveau 2****, conformément aux lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. »*

**<u>Informations relatives à la période 2021-2025</u>**

Le rapportage de la période 2021-2025 est attendu en 2027, sur les catégories de rapportages suivantes :

> « a) terres déclarées en tant que terres cultivées, prairies, zones humides, établissements ou autres terres, convertis en terres forestières («**terres boisées**»);
> b) terres déclarées en tant que terres forestières converties en terres cultivées, prairies, zones humides, établissements ou autres terres («**terres déboisées**»);
> c) terres déclarées comme appartenant à l'une des catégories suivantes («**terres cultivées gérées**»):
> i) terres cultivées demeurant des terres cultivées;
> ii) prairies, zones humides, établissements ou autres terres, convertis en terres cultivées;
> iii) terres cultivées converties en zones humides, établissements ou autres terres;
> d) terres déclarées comme appartenant à l'une des catégories suivantes («**prairies gérées**»):
> i) prairies demeurant des prairies;
> ii) terres cultivées, zones humides, établissements ou autres terres, convertis en prairies;
> iii) prairies converties en zones humides, établissements ou autres terres;
> e) terres déclarées en tant que terres forestières demeurant des terres forestières («**terres forestières gérées**»);
> f) lorsqu'un État membre a notifié à la Commission son intention d'inclure les zones humides gérées dans le champ d'application de ses engagements au titre de l'article 4, paragraphe 1, du présent règlement au plus tard le 31 décembre 2020, terres déclarées

comme appartenant à l'une des catégories suivantes («**zones humides gérées**»):

— zones humides demeurant des zones humides,

— établissements ou autres terres, convertis en zones humides,

— zones humides converties en établissements ou autres terres. »

Les niveaux de méthodologies appliqués par type d'usage des terres et compartiments carbone sont renseignés dans les tableaux ci-dessous :

| To | **FL** | | | | | **CL** | | | | **GL** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| From | LB | DW | LT | SOC min | SOC org | LB | DOM | SOC min | SOC org | LB | DOM | SOC min | SOC org |
| **FL** | T3 | T3 | T1 | T1 | NO | T3 | T3 | T3 | NO | T3 | T3 | T3 | NO |
| **CL** | T3 | T3 | T3 | T3 | NO | T2, T3 (a) | T1, T3 (c) | T2, T3 (a) | T2 | T3 | T3 | T3 | NO |
| **GL** | T3 | T3 | T3 | T3 | NO | T3 | T3 | T3 | NO | T2, T3 (a) | T1, T3 (c) | T2, T3 (a) | T2 |
| **WL** | T3 | T3 | T3 | T3 | NO | T3 | T3 | T3 | NO | T3 | T3 | T3 | NO |
| **SL** | T3 | T3 | T3 | T3 | NO | T3 | T3 | T3 | NO | T3 | T3 | T3 | NO |
| **OL** | T3 | T3 | T3 | T3 | NO | T3 | T3 | T3 | NO | T3 | T3 | T3 | NO |

| To | **WL** | | | | **SL** | | | | **OL** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| From | LB | DOM | SOC min | SOC org | LB | DOM | SOC min | SOC org | LB | DOM | SOC min | SOC org |
| **FL** | T2 | T2 | T2 | NO | T2 | T2 | T2 | NO | T2 | T2 | T2 | NO |
| **CL** | T2 | T2 | T2 | NO | T2 | T2 | T2 | NO | T2 | T2 | T2 | NO |
| **GL** | T2 | T2 | T2 | NO | T2 | T2 | T2 | NO | T2 | T2 | T2 | NO |
| **WL** | T1, T2 (b) | T1, T2 (b) | T1, T2 (b) | T2 | T2 | T2 | T2 | NO | T2 | T2 | T2 | NO |
| **SL** | T2 | T2 | T2 | NO | T1, T2 (b) | T1, T2 (b) | T1, T2 (b) | NO | T2 | T2 | T2 | NO |
| **OL** | T2 | T2 | T2 | NO | T2 | T2 | T2 | NO | | | | |

(a), T2 for land remaining in the same sub-category, T3 for the others
(b), T1 for land remaining in the same sub-category, T2 for the others
(c), T1 for land remaining in the same sub-category, T3 for the others
*T[ ] : tier level ;*
*FL, CL, GL, WL, SL, OL : forest land, cropland, grassland, wetlands, settlements, other lands ;*

*Notes*
*Les compartiments utilisés dans ce tableau sont ceux fixés par l'annexe transmise par la commission.*
***LB. :** biomasse vivante (aérienne et racinaire)*
***SOC min. :** carbone des sols minéraux*
***SOC org**. : carbone des sols organiques*
***DOM** : matières organiques mortes. Correspond, dans l'inventaire français, à la somme de bois mort et de litière.*
*HWP : produits ligneux récoltés (ou produits bois).*
*L'annexe I du règlement précise que les compartiments litière et bois mort ne s'appliquent qu'aux catégories « terres boisées » et « terres forestières gérées » ; que le compartiment « matières organiques mortes » s'applique « uniquement aux terres déboisées, aux terres cultivées gérées, aux prairies gérées et aux zones humides gérées » ; et que le compartiment produits ligneux récoltés s'applique uniquement dans la catégorie des terres boisées et des terres forestières gérées.*

Les variations de stocks de carbone de l'inventaire LULUCF sont calculées à partir d'un modèle spatialement explicite. Les informations relatives à l'usage des terres sont renseignées par mailles systématiques de 0.25 ha de 1990 à 2023. Puis, les variations de stocks de carbone sont calculées pour chaque maille et chaque compartiment carbone en fonction de stocks de carbone de référence renseignés par type d'usage dans le modèle. Ces stocks de carbone sont issus de différentes sources, et basés sur des informations nationales, avec une précision forte pour les types d'usage forêt, culture, et prairie. Les usages zones humides, zones artificielles et autres terres sont également décrites avec des stocks spécifiques à la France, mais sont moins précis (sous-catégories moins fines, ou pas de régionalisation des stocks de référence). Ces éléments nous invitent à classer les émissions de tous les compartiments carbone, lors de changements d'usage en Tier 3 pour les catégories converties vers forêts, cultures et prairies, mais proposer pour l'instant un niveau Tier 2 pour les catégories terres artificielles, zones humides et autres terres.

Enfin, le règlement 2018/841 amendé prévoit l'application d'une méthode de suivi des terres utilisant de données géographiquement explicites. Cette exigence est respectée par la France avec la mise en œuvre d'une approche cartographique multi-source à haute résolution spatiale.

**Niveau de référence pour les terres boisées (FRL)**

Le Plan comptable National présentant le FRL (*Forest Reference Level*, niveau de référence projeté pour la catégorie terres forestières gérées) est disponible à cette adresse :

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Plan%20Comptable%20Forestier%20France.pdf

**France métropolitaine**

| *2021-2025* | biomasse vivante aérienne | biomasse vivante souterraine | total biomasse vivante | bois mort | litière | carbone organique du sol | produits ligneux récoltés | **FRL** | *FRL avec oxy. Instantanée des PLR* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tCO2* | -42 358 495 | -12 193 153 | -54 551 647 | 1 106 878 | NE | NE | -3 106 740 | **-56 551 509** | *-53 444 769* |
| *CH4 (en tCO2e)* | 634 745 | 0 | 634 745 | 0 | NE | NE | 0 | **634 745** | *634 745* |
| *N2O (en tCO2e)* | 334 940 | 0 | 334 940 | 0 | NE | NE | 0 | **334 940** | *334 940* |
| *total (en tCO2e)* | -41 388 810 | -12 193 153 | -53 581 963 | 1 106 878 | NE | NE | -3 106 740 | **-55 581 825** | *-52 475 084* |

**Total Outre-mer**

| *2021-2025* | **biomasse vivante aérienne** | **biomasse vivante souterraine** | **total biomasse vivante** | **bois mort** | **litière** | **carbone organique du sol** | **produits ligneux récoltés** | **FRL** | ***FRL avec oxy. Instantanée des PLR*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *tCO2* | 160 665 | 0 | 160 665 | 0 | 0 | 0 | 0 | **160 665** | *160 665* |
| *CH4 (en tCO2e)* | 17 582 | 0 | 17 582 | 0 | 0 | 0 | 0 | **17 582** | *17 582* |
| *N2O (en tCO2e)* | 4 288 | 0 | 4 288 | 0 | 0 | 0 | 0 | **4 288** | *4 288* |
| *total (en tCO2e)* | 182 535 | 0 | 182 535 | 0 | 0 | 0 | 0 | **182 535** | *182 535* |

La valeur de FRL retenue à l'annexe IV du règlement 2018/841 est de –55 339 ktCO2e.

**Flexibilités**

Le règlement 2018/841 amendé prévoit des flexibilités pour le respect des objectifs. Le recours ou non à ces flexibilités sera précisé dans des éditions ultérieures.

**Détail sur les PLR**

Les Produits Ligneux Récoltés sont répartis entre boisement (« terres boisées ») et Forêt restant foret (« terres forestières gérées ») de la manière suivante : la totalité des récoltes ont lieu en « terres forestières gérées ».

**Premiers résultats provisoires**

A titre d'information uniquement, sans que cela tienne lieu du rapportage final ou d'indications de conformité, le tableau suivant présente la situation actuelle au regard des objectifs quantifiés.

A titre d'information uniquement, sans que cela tienne lieu du rapportage final ou d'indications de conformité, le tableau suivant présente la situation actuelle au regard des objectifs quantifiés. Ce tableau est un extrait de l'annexe XX, table 1b. Les lignes relatives aux perturbations naturelles ont été filtrées car non utilisées pour le moment.

| | Land Accounting Categories | NET EMISSIONS/REMOVALS (10) | | | | | | Accounting parameters | Accounting quantity (3) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | Total(2) | | |
| A | Mandatory accounting categories | | | | | | | | |
| A.1 | Managed Forest land | -33568,40 | -32644,43 | -36560,98 | 0 | 0 | -102773,82 | | 63424,05 |
| | thereof Forest land remaining Forest land | -33568,40 | -32644,43 | -36560,98 | | | -102773,82 | | |
| | thereof HWP from Managed forest land (8)(9) | -1815,78 | -1262,55 | -485,54 | | | -3563,87 | | |
| | thereof HWP in the category of paper from Managed forest land (8)(9) | 143,75 | 97,11 | 130,76 | | | 371,62 | | |
| | thereof Dead wood (8) | -14034,48 | -14330,84 | -14223,21 | | | -42588,52 | | |
| | Forest Reference Level (FRL) (6) | | | | | | | - 55 399 | |
| A.2 | Afforested Land | -14858,31 | -14920,02 | -14970,50 | 0,00 | 0,00 | -44748,83 | | -44748,83 |
| | thereof HWP from Afforested land (9)(11) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | 0,00 | | |
| A.3 | Deforested Land | 10738,98 | 10710,81 | 10992,35 | | | 32442,13 | | 32442,13 |
| A.4 | Managed Cropland (1) | 7073,89 | 6919,53 | 7103,16 | | | 21096,59 | 14091,27 | -21177,21 |
| A.5 | Managed Grassland (1) | -5281,51 | -4947,14 | -4835,06 | | | -15063,71 | -7973,11 | 8855,62 |
| B | Elected accounting categories | | | | | | | | |
| B.1 | Managed Wetland (if elected) | NA | NA | NA | | | 0,00 | | 0,00 |
| | TOTAL | | | | | | | | 38795,76 |

L'activité gestion des zones humides n'a pas été choisie pour le rapportage, elle est donc exclue du total. La dernière ligne du tableau représente la somme des résultats en termes de débit ou crédit des catégories à rapporter pour cette période 2021-2025. Ces débits et crédits sont déterminés dans la colonne "Accounting quantity". Les catégories ont des modes de bilans différents. Pour les terres boisées et terres déboisées, la somme des résultats moyens des deux catégories doit être négative pour avoir des crédits. Pour les catégories terres cultivées et prairies gérées, les résultats moyens de chaque catégorie doivent être meilleurs que la référence de la période 2005-2009 pour dégager des crédits. Enfin, pour les terres forestières gérées, le bilan doit être un puits plus fort que l'objectif FRL, sinon des débits seront inscrits.

# Annexe 11

## Fichiers informatiques relatifs au texte

Le rapport intégral est disponible sur le site web du Citepa :

NID - cadre de la CCNUCC - Citepa

Le support informatique lié au rapport concerne les éléments suivants :

**1 - Rapport CCNUCC :**

Le fichier **"CCNUCC_France_mars2025.pdf"** contient le corps du texte et les annexes à l'exclusion des tables du CRT.

**2 - CRT France UE :**

Les fichiers **"FRA_CRT-2025_XXXX.xls"** contiennent les tableaux de données pour la France selon le périmètre France UE au format CCNUCC/CRT relatifs à chacune des années considérées. Les caractères « XXXX » du nom correspondent à l'année de référence. Chaque fichier comporte 60 feuillets, qui correspondent aux tableaux définis dans le CRT. Dans le rapport, seuls sont reproduits les tables « résumés » dans l'annexe 6 pour les années 1990, 2022 et 2023.

**Compléments spécifiques au CRT REPORTER.**

Le fichier Json du CRT Reporter est joint ainsi que la base de données correspondante.

**3 – Base de données :**

Le fichier « BDD_OMINEA_A_EF_d » contient les données d'activités et de facteurs d'émission, à un niveau fin du CRF/CRT, pour toute la période de l'inventaire.

**4 – Recalculs :**

Le fichier « Recalculs-d.xlsm » contient les recalculs entre les deux dernières éditions de l'inventaire, à différents niveaux du CRF/CRT et pour toute la période de l'inventaire.

**5 – Données supplémentaires UTCATF :**

Le fichier « LULUCF_Background-d.xlsm » contient des données très détaillées sur l'inventaire UTCATF français. Une partie de ces informations est déjà incluse dans les tables CRT mais ce fichier offre une résolution très élevée.

# Références

[1] Ministère de l'Ecologie / CGDD / SDES et anciennement Observatoire de l'Energie – Les bilans de l'Energie (données non corrigées du climat). Communication annuelle
[2] Aide-mémoire du thermicien – Edition 1997 - Elsevier
[3] Citepa – Combustion et émission de polluants - Monographie n°39 - 1984
[5] IPCC – Guidelines 1996 - Volume 2 - section I.8 - table 1- 4
[6] Citepa - Nouveaux combustibles - Monographie n°49 - 1986
[7] MEDD – D. BELLENOUE - Note « Evolution des flux de dioxines et plomb émis par les aciéries électriques » - août 2001
[8] ATILH – Note du comité de suivi de l'industrie cimentière – Novembre 2002
[9] IPCC – Revised 1996 Guidelines for National GHG Inventories : Workbook – section I.6
[10] Ministère de l'Environnement - Données internes
[11] EDF – Données internes
[12] ATIC – Données internes
[13] UFIP – Données internes
[14] CPDP – Pétrole (publication annuelle)
[15] Chambre Syndicale du Raffinage du Pétrole - Spécifications des produits pétroliers
[16] MEET 1997
[17] EMEP / CORINAIR Guidebook
[18] Citepa – Facteurs d'émission du protoxyde d'azote pour les installations de combustion et les procédés industriels, Etude bibliographique - S. CIBICK et J-P. FONTELLE - 2002
[19] DRIRE / DREAL – Déclarations annuelles des émissions de polluants
[20] EDF – Données internes
[21] SNET puis Eon – Données internes
[22] Ministère de l'Environnement – Circulaire du 24 décembre 1990
[23] SOeS, (ex Observatoire de l'Energie) – Tableaux des consommations d'énergie (publication annuelle)
[24] Observatoire de l'Energie – Données internes
[25] Service statistique du Ministère en charge de l'environnement - SDES (ex SOeS et ex Observatoire de l'énergie) - Données nationales transmises à l'AIE et à EUROSTAT
[26] Ministère de l'Industrie, de l'Economie et des Finances (INSEE et anciennement SESSI) et Ministère de l'Agriculture (SCEES puis SSP) – Enquête annuelle sur les consommations d'énergie dans l'industrie (EACEI)
[27] Fédération française de l'Acier / A3M (Alliance des Minerais, Minéraux et Métaux) - Données internes
[28] ATILH – Statistiques énergétiques annuelles de la profession cimentière
[29] Gaz de France – Données internes
[30] CDF – Données internes
[31] Ministère chargé des Transports – Rapport annuel de la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN)
[32] ADEME – Inventaire des installations de traitement des déchets (enquête périodique ITOM)
[34] Ministère de l'industrie, puis de l'Ecologie – DGEMP puis SOeS puis SDES – Production et distribution d'énergie électrique en France (publication annuelle)
[35] ENERCAL – Société néo-calédonienne d'énergie - Données internes
[36] Electricité de Tahiti – Données internes
[37] Electricité et eau de Wallis et Futuna – Données internes
[38] EDM – Electricité de Mayotte - Données internes
[39] Citepa – Inventaire des grandes installations de combustion en application des directives 88/609 et 2001/80/CE
[40] Zderek Parma & all. – Atmospheric Inventory Guidelines for Persistant Organic Pollutants, Axys Environmental Consulting - British Columbia, Canada, 1995
[41] SNCU – Enquête chauffage urbain (enquête annuelle)
[42] OFEFP – Coefficients d'émission des sources stationnaires, éditions 1995 et 2000
[43] Circulaire du 30 mai 1997 relative à la mise en conformité des UIOM > 6 t/h
[44] MEDD – Actions en cours mi-2000 pour la mise en conformité des UIOM, 2000
[45] CNIM – Communication personnelle de M. de Chefdebien, 2001

[47] Ministère de l'Environnement - Enquête raffineries (jusqu'en 1993)
[48] Citepa – N. ALLEMAND - Estimation des émissions de COV dues au raffinage du pétrole, 1996
[49] TNO – Etude CEPMEIP relative aux émissions de particules, 2001
[50] Données communiquées directement par les exploitants au Citepa
[51] NGUYEN V., ALLEMAND N. – Emissions de polluants atmosphériques au format NAMEA – Années 1995 à 2007 – Rapport final - Citepa – septembre 2009
[52] Charbonnages de France – Statistique charbonnière annuelle
[53] SESSI / INSEE – Bulletin mensuel de statistique industrielle
[54] CCFA – Note annuelle sur le parc automobile français
[55] Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement - DAEI – Le marché des véhicules, immatriculations et parcs au 1er janvier (publication annuelle)
[56] ARGUS – Numéro annuel spécial statistiques
[57] FIEV / CSNM – Statistiques sur le motocycle en France
[58] INRETS – BOURDEAU B. - Evolution du parc automobile français entre 1970 et 2020 - 1998
[59] AEE – COPERT III – SAMARAS Z. & all. - Methodology and Emission Factors, 2000
[60] Ministère chargé des Transports – Rapports annuels de la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN)
[61] Ecole des Mines de Paris – PALANDRE L., BARRAULT S., CLODIC D. - Inventaire et prévisions des fluides frigorigènes et de leurs émissions (mise à jour annuelle)
[62] Citepa – SAMBAT S. & all. – Inventaire des émissions de particules primaires – 2001
[63] MINEFI – DIDEME – Données internes non publiées
[64] USIRF – Données internes à la profession relatives à la production d'enrobé routier
[65] ADEME – Le chauffage domestique au bois, approvisionnement et marchés. Mars 2000
[66] EPA – AP 42 Compilation of air pollutant emission factors, January 1995
[67] Citepa – ALLEMAND N. - Estimation des émissions de polluants liées à la combustion du bois en France. Mars 2003
[68] OFEFP – Mesures pour la réduction des émissions de PM10. Document environnement n°136, juin 2001
[69] INSTITUT D'EMISSION D'OUTRE-MER (IEOM) – Rapport annuel
[70] Citepa – BOUSCAREN R. – Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
[71] SAMARAS Z. & ZIEROCK K-H. – The estimation of other mobile sources and machinery. May 1994
[72] PROMOJARDIN – Données professionnelles internes
[73] GIGREL – Données professionnelles internes
[74] EMEP MSC EAST – Note technique 6/2000
[75] AFME – CEMAGREF – Consommation de carburant des tracteurs agricoles - Février 1990
[76] ARMEF – Les ventes de matériel d'exploitation forestière en France de 1968 à 1992 - Avril 1993
[77] ARMEF – Etat du parc des machines d'exploitation forestière en région Lorraine, Février 1993
[78] Citepa – Carbonisation du bois et pollution atmosphérique – Monographie n°48, 1986
[79] TNO – Particulate matter emissions (PM10 - PM2.5 - PM0.1) in Europe in 1990 and 1993 -February 1997
[81] EPA – Reconciling urban fugitive dust emissions inventory and ambient source contribution estimates : summary of current knowledge and needed research - Desert Research Institute - May 2000
[82] UBA – Etude sur la répartition granulométrique (< PM10, < PM 2.5) des émissions de poussières - février 1999
[83] MINEFI – Observatoire de l'Energie - Données communes des bilans de l'énergie communiquées à l'AIE et à EUROSTAT
[84] CEPII – Harmonisation des statistiques énergétiques nationales pour le calcul des émissions de CO2 de la France - KOUSNETZOFF N. et CHAUVIN S. - Juin 2003
[85] SCEES – AGRESTE, Statistique agricole annuelle
[86] SCEES – AGRESTE, Statistique agricole annuelle et production agricole finale, DOM
[87] ECETOC – Ammonia emissions to air in Western Europe, July 1994
[88] GIEC – Guidelines 96 - Vol. 2 - section 4
[89] INRA – VERMOREL, Emissions annuelles de méthane d'origine digestive par les bovins en France, 1995

[90] UNIFA – Les livraisons de fertilisants minéraux en France – Publication annuelle
[91] AGENCE DE L'EAU – Données internes fournies annuellement
[92] Citepa – PAJOT K., GABORIT G. FONTELLE J-P. – Estimation annuelle des émissions de COVNM des sources biotiques dans la basse atmosphère en France (modèle COBRA) - Mai 2003
[93] EPA – National Technical Information Service - Gap filling PM10 emission factors for selected open area dust sources, February 1988
[94] SAMARAS Z., ZIEROCK K.H. - Guidebook on the Estimation on the Emissions of Other Mobile Sources and Machineries - Université de Thessalonique, 1994
[96] INSEE – Statistiques démographiques annuelles (www.insee.fr)
[103] AEAT – source apportionment of airbone particulate matter in the UK (70 to 96, PM10 - PM2,5 - PM0,1), third report of the quality of urban air review group, January 1999
[104] SNCF – Mission environnement
[105] OFEFP/OFEV – Banque de données off-road
[106] AEAT – UK Particulates and heavy metal emissions from industrial processes, February 2002
[107] BICOCHI S., L'HOSPITALIER C. – Les techniques de dépoussiérage des fumées industrielles, état de l'art - RECORD, éditions TEC et DOC, mars 2002
[108] Confédération Nationale de la Boulangerie – PARIS
[109] Citepa – Monographie N°54 – Les émissions atmosphériques de COV lors de l'élaboration du vin, 1987
[110] B. GIBSON et al. – VOC emissions during malting and beer manufacture – Atmospheric Environment Vol. 29, No. 19, 1995
[111] FIPEC – Données statistiques sur les consommations de peinture, encres, etc.
[112] CEPE – Communication dans le cadre d'EGTEI, 2003
[113] ECSA – European Chlorinated Solvent Association - Solvent digest, 1991 et 1995
[114] CTTN – Centre Technique de la Teinture et du Nettoyage (données de la profession)
[115] SPMP – Rapport annuel, les matières plastiques en chiffres
[116] SNCP – Syndicat National du Caoutchouc et des Polymères – rapports annuels d'activité
[117] SICOS – Données de la profession
[118] UIC – Rapport annuel sur l'évolution de l'industrie chimique en France
[120] SNCP – Rapports annuels d'activité
[121] Citepa – Final EGTEI document – Polystyrene processing, 2003
[122] IFARE – Task force on assessment of abatement techniques for VOC from stationary sources, May 1999
[123] FIPEC pour le compte de l'ADEME – Emissions de COV dans la production de peintures, vernis, encres d'imprimerie, colles et adhésifs, 1997
[124] PROLEA – statistiques annuelles
[125] FICG / ADEME / MEDD - Données relatives aux taux d'équipement des presses offset en incinérateurs, 2003
[126] LEVY C., DUVAL L., FONTELLE J-P., CHANG J-P. – Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère d'une zone aéroportuaire à l'exception des aéronefs - Citepa, 1999-2003
[127] DGAC – données relatives aux liaisons domestiques et internationales
[128] OACI – caractéristiques sur les moteurs et guide sur les APU 2007
[129] DGAC – fichier « bruit » de Roissy
[130] DGAC – données internes
[131] DGAC – données internes relatives à AIR FRANCE
[132] DGAC – Bulletin statistique annuel
[133] Citepa – DANG Q.C. – Tentative d'estimation des émissions de polluants atmosphériques dues au trafic maritime en Méditerranée Occidentale, Janvier 1993
[134] GIEC – Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 2000
[137] CEE-NU, AIE, EUROSTAT, OCDE – Energy statistics working group meeting, special issues Paper 8, Net calorific values – novembre 2004
[139] Arrêté du 28 septembre 2005 modifiant l'arrêté du 17 janvier 2001 relatif aux contrôles des émissions de gaz polluants et de particules polluantes provenant des moteurs destinés à la propulsion des tracteurs agricoles et forestiers (JO du 26 octobre 2005)

[140] Arrêté du 22 septembre 2005 relatif à la réception des moteurs destinés à être installés sur le engins mobiles non routiers en ce qui concerne les émissions de gaz et de particules polluants (JO du 23 décembre 2005)
[141] Directive 2004/26/CE du Parlement européen et du Conseil, du 21 avril 2004, modifiant la directive 97/68/CE sur le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux mesures contre les émissions de gaz et de particules polluants provenant des moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers
[142] UBA–Entwicklung eines Modelis zur Berechnung der Luftschadstoffenemissionen und des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren in mobilien Geräten un Maschinen – Jan. 2004
[143] UNIFA – Union des industries de la fertilisation – communication personnelle de données
[144] Citepa - Etude documentaire n°53 décembre 1977 page 310
[145] OFEFP édition 1995 page 115
[146] AFNOR – référentiel de bonnes pratiques BP X 30-331
[147] Rhodia PI Chalampé - Données confidentielles communiquées par le site
[148] AFNOR – Référentiel de bonnes pratiques BP X 30-330
[149] Rhodia PI Chalampé – Communication personnelle de données - confidentiel
[150] Dossier d'engagement AERES – site de Cuise-Lamotte - CLARIANT
[151] AFNOR – Référentiel de Bonnes Pratiques BP X 30-332
[154] INESTENE, Eléments de base pour une prospective des émissions totales de particules primaires à l'horizon 2030, août 2001
[155] IPCC Good Practices Guidance, Chapitre 5
[156] ADEME, Département Déchets, Evaluation des émissions de méthane des décharges de déchets ménagers et assimilés, E. Prud'homme, Février 1999.
[157] ADEME, données internes communiquées par le département Déchets
[158] DRIRE des DOM et des TOM – données internes, multi annuel
[159] Charbonnages de France – données internes sur les émissions de CH4, multi annuel
[160] INERIS, Evaluation des quantités de méthane rejetées dans l'atmosphère par les mines françaises de charbon et de lignite, décembre 1991
[161] IPCC Good Practices Guidance, Chapitre 2.7.1
[162] LECES Evolution des métaux lourds et composés organiques persistants en sidérurgie, 1996
[163] UK fine particulate – Emissions from industrial processes, août 2000
[165] Ministère de l'Economie et des Finances, statistiques 97/98 de l'industrie gazière en France
[167] MINEFI / DIREM (ex-DIMAH) – données internes non publiées annuelles sur les bilans énergétiques de l'Outre-mer y compris les PTOM
[168] CPDP – données internes sur les caractéristiques des dépôts pétroliers
[169] Arrêté du 4 septembre 1986 relatif à la réduction des émissions atmosphériques d'hydrocarbures provenant des activités de stockage
[170] Arrêté du 8 décembre 1995 relatif à la lutte contre les émissions de composés organiques volatils résultant du stockage de l'essence et de sa distribution des terminaux aux stations-service
[171] IFARE – Elaboration de fonctions de coûts pour la réduction des émissions de COV en France, Tome II, 1999
[172] Décret 2001-349 du 18 avril 2001 relatif à la réduction des émissions de COV liées au ravitaillement des véhicules dans les stations service
[173] Observatoire de l'Energie – La récupération des vapeurs d'essence en stations-service, 1993
[174] MINEFI / DIDEME – données internes sur les stations-service, 2003
[175] MEDD / DPPR / SEI – données internes sur les stations-service, 2003
[176] ALLEMAND N. – Gasoline distribution – service stations, background document EGTEI, 2003
[177] ALLEMAND N. – Evolution des émissions de polluants du trafic routier en 2010 et 2020, Citepa 2004
[178] EGTEI – travaux pour la détermination des coûts de la réduction des émissions. Scénario France en 2004 pour la première consultation bilatérale
[179] INSEE – Tableau économique de Mayotte, 2001
[180] ITSTAT – Les tableaux de l'économie polynésienne, 1998
[181] Communication personnelle de R. Ballaman (OFEFP), septembre 2002
[182] BUWAL – PM10 - Emissionen des Verkehrs ; Statusbericht Teil Schienenverkehrs, ed. 2002

[183] Citepa – IER – Study on particulate matter emissions : particle size distribution chemical composition and temporal profiles – Interreg III for ASPA, January 2005
[184] Routes de France, anciennement USIRF (Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française) – Consommation annuelle de bitume routier. Communication en 2006
[185] USIRF (Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française) – Données internes confidentielles transmises en 2001 et 2003
[186] Ministry of Housing, physical planning and environment – Handbook of emission Factors – Industrial Sources – 1984
[188] AER – Facteurs d'émission pour certains polluants organiques persistants : PCB, HAP, HCB et PCP, octobre 2004 (rapport pour Citepa, non publié)
[189] UNFCCC – paragraphe 16 de l'annexe à la Décision 11CP7
[190] Chambre Syndicale Nationale des Fabricants de Chaux Grasses et Magnésiennes – Statistiques annuelles de production de chaux grasses (aériennes) et magnésiennes
[194] Chambre Syndicale Nationale des Fabricants de Chaux Grasses et Magnésiennes – Données communiquées au Citepa en septembre 2003
[195] ATILH - Données annuelles sur les émissions de l'ensemble des sites de chaux hydraulique
[196] Données annuelles de production nationale des installations de production de chaux hydraulique fournies par l'ATILH (confidentielles)
[197] MAP/SCEES - Publications Agreste. "L'utilisation du territoire".
[198] MIES – Rapport déterminant la quantité attribuée conformément à l'article 8, paragraphe 1, point d), de la décision n°280/2004/CE dans le cadre de la préparation de la 1ère période d'engagement du Protocole de Kyoto, 2006
[199] GIEC – Guide sur les Bonnes Pratiques pour l'UTCF, 2003
[200] MAP / SCEES – Publications annuelles Agreste « Récolte de bois et production de sciages »
[201] INESTENE – Le bois énergie en France
[202] IGN/IFN – Données spéciales d'après l'inventaire terrain
[203] INRA – Stocker du carbone dans les sols agricoles de France, octobre 2002
[204] GICC 2001 – Gestion des impacts du changement climatique, rapport CARBOFOR, juin 2004
[206] Compte rendu de l'Académie d'Agriculture de France – Vol. 85, n°6, 1999
[207] Centre Efficacité énergétique des Systèmes de l'Ecole des Mines de Paris – Inventaire annuel des émissions des fluides frigorigènes en France jusqu'en 2016
[209] GIFEX – communication de données internes
[210] CFA – Comité Français des Aérosols – communication annuelle de données internes
[212] Promosol – Communication de données internes
[213] SITELESC – Communication de données internes annuelles
[214] GIMELEC – syndicat des fabricants d'équipements électriques – communication annuelle de données au ministère chargé de l'environnement
[215] RTE – Réseau de Transport d'Electricité – communication de données internes et le rapport annuel « Développement durable »
[216] Nike – communication de données
[217] 3M – communication annuelle de données internes
[218] SFIC (Syndicat Français de l'Industrie Cimentière) – données annuelles de production de clinker et de ciment
[222] Données internes à Rio Tinto Alcan.
[223] Société de l'industrie minérale – Annuaire Statistique Mondial de Minerais et Métaux. Publication annuelle
[224] Fédération française de crémation – Données statistiques
[227] Bennet R.L. and Knapp K.T. – Characterization of particulate emissions from non-ferrous smelters – JAPCA, February 1989, vol. 39, number 2, page 169
[228] AIRPLUS n°32/33, Novembre 2001, page 12
[231] Agences de l'eau (ADOUR-GARONNE, RHÔNE-MEDITERRANEE-CORSE, RHIN-MEUSE, ARTOIS-PICARDIE, LOIRE-BRETAGNE, SIAAP)
[232] IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volumes 2 et 3, sections agriculture, 1996
[233] INSEE – Bulletins mensuels de statistique

[234] IFEN – Les données de l'environnement, 1999, 2002 et 2004
[235] CEMAGREF – Communications de M. Duchêne, 2002.
[236] GIEC – Guide des Bonnes Pratiques 2000, Chapitre 5, pages 5-14,5-15,5-16
[237] ADEME / CTBA - Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets, 2006
[238] GIEC – Guidelines 1996 – Volume 3 section 2.3
[239] ATILH – Mode d'obtention des données annuelles sur les émissions de CO2 et moyens de contrôle de ces valeurs d'émission, novembre 2002
[240] Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du Verre – Communication de données internes
[241] FFTB (Fédération Française des Tuiles et Briques) – Statistiques annuelles
[242] CTTB (Centre Technique des Tuiles et Briques) – Données internes
[243] Infochimie – numéros « spécial usines » et numéros divers selon les années
[244] GIEC – Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 2 - Edition 1996 page 2.8
[245] MEDD – Principaux rejets industriels en France, années 1999 à 2001
[250] KLEEMAN M.J., SCHAUER J.J., CASS G.R. – Size and composition distribution of fine particulate matter emitted from wood burning, meat charbroiling and cigarettes, Environmental Science and Technology, vol 33, 1999
[251] Confédération des Industries céramiques de France – Chiffres clés de la profession - statistiques annuelles (confidentielles)
[253] Syndicat général des fondeurs de France – Chiffres clés de la fonderie française et contact interne
[254] OCDE – Environment directorate, Greenhouse gas emissions and emissions factors - May 1989
[255] IPCC revised 2006 guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, V_3.3 Ch3 Chemical Industry, 3.6 Carbide production, page 3.44
[256] ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell' Ambiente – PM10 emission inventory for 1994 in Italy, Iiacqua, e-mail contact, octobre 2000
[257] COPACEL – Communication de Philippe BRULE lors de la préparation du PNAQ, 2005
[261] ADEME – Centre de Valbonne – Données internes 2001 et 2004 relatives aux déchets hospitaliers
[262] BRUN M.J. et LEFORESTIER C. – Valorisation énergétique des déchets industriels et hospitaliers, Institut français de l'énergie (IFE), ENERGIRAMA, janvier 1991
[263] Ministère chargé de l'environnement – L'évolution récente des émissions de dioxines dans l'atmosphère, Octobre 2000
[264] ADEME – dossier « Emballages vides de produits phytosanitaires (EVPP) » sur www.ademe.fr, 2003
[265] IPCC – Guidelines 96, Volume 2, page 4.35
[267] USIRF - Evolution du parc de centrales, Octobre 1998
[268] IPCC – Revised 1996 Guidelines - Workbook, page 5.37, worksheet 5.51, sheet 3/4
[272] INSEE – Annuaire rétrospectif de la France - 1948 – 1988
[273] ATILH – Communication spécifique relative aux facteurs d'émission de métaux lourds et de particules, août 2006
[275] SERVEAU L., FONTELLE JP. – Document d'application relatif aux émissions atmosphériques des installations de production d'enrobés (confidentiel). Citepa, avril 2006
[276] ADEME - Détermination de la granulométrie des aérosols dans les émissions diffuses d'ateliers sidérurgiques : PM10, PM2,5, PM1,0 et PM0,1 – janvier 2004
[279] MEDD – Compilation annuelle des émissions de métaux lourds et dioxines émis par les UIOM
[280] INERIS, "Inventaires et facteurs d'émission de dioxines UIOM", rapport provisoire n°4
[281] Projet TOCOEN (Toxic Organic COmpounds in the ENvironment), Masaryk University, Mars 1993
[282] Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP), communication personnelle, octobre 2006
[283] Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activité de soins à risques infectieux
[284] Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux
[285] ADEME – Evaluation comparative actuelle et prospective des émissions du parc d'appareils domestiques de chauffage en France (document confidentiel), Septembre 2005
[286] Arrêté du 28 juillet 2005 relatif à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre
[289] Danish Budget for Greenhouse Gases, 1990

[292] IFN – Inventaire des surfaces forestières par département, surface par essence, mise à jour annuelle
[293] RENECOFOR (REseau National de suivi à des ECOsystèmes FORestiers) – Communication annuelle de données de températures diurnes et nocturnes
[294] GUENTHER A-B – Seasonal and spatial variation in natural volatile organic compound emissions. Ecological Application, 1997, vol. 7, pp 34-45
[295] LAMBERT – Influence du climat et de la disponibilité en azote sur la croissance printanière du ray-grass anglais. 2001, Université catholique de Louvain – Faculté des sciences agronomiques – Laboratoire d'écologie des prairies.
[296] Citepa – Logiciel COBRA version 2002 (Composés Organiques de la Biomasse Rejetés dans l'Atmosphère)
[297] PROMETHEE – Base de données sur les incendies en zone méditerranéenne sur www.promethee.com
[298] Ministère de l'Agriculture (MAP), Dossier de presse « Prévention des incendies de forêt », www.agriculture.gouv.fr,
[299] METEO FRANCE – Données Meteorage (incrémentation permanente)
[300] ATILH – Communication de M. Fauveau du 11 octobre 1999 relative aux émissions de PCDD/F pour 1996
[301] FRABOULET I. – INERIS – Aerosol size distribution determination from stack emissions : the case of a cement plant, DUST CONF, Maastricht, April 2007
[303] Témoignages, mercredi 11 juillet 2007, p 10,
[304] Tout sur la France, n°4, octobre 2007
[307] Ministère de l'Ecologie du développement et de l'Aménagement Durables (site Internet www.ecologie.gouv.fr rubrique « biodiversités et paysages »), 2007
[310] FNADE – Compte rendu du groupe de travail EPER sur l'incinération, juin 2006
[311] HUGREL C., JOUMARD R. - Transport routier - Parc, usage et émissions des véhicules en France de 1970 à 2025, INRETS, Rapport LTE n°0420, Septembre 2004
[312] AEE – COPERT IV – Technical report N° 11/2006 - EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - Group 7: Road transport - 2006
[318] INSEE – Tableau économique de la Réunion, chapitre transport routier
[319] INSEE – Tableau économique de la Martinique, chapitre transport routier
[320] INSEE – Tableau économique de la Guadeloupe, chapitre transport routier
[321] INSEE – Tableau de l'économie calédonienne, chapitre transport routier
[322] INSEE – Tableau économique de la Guyane, chapitre transport routier
[323] LECES – Données communiquées par le Ministère de l'Environnement, courrier du 19 février 1996
[325] CTBA / ADEME – La caractérisation des émissions atmosphériques d'un échantillon représentative du parc français de crematorium en vue d'une évaluation globale du risqué sanitaire, 2006
[326] Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux
[327] IFN – Suivi de l'occupation du sol et des changements d'occupation du sol en Guyane par télédétection satellitaire – Rapport final, janvier 2008
[328] Guitet S., Blanc L., Chave J., Gomis A., 2006. Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l'inventaire national de gaz à effet de serre pour la forêt guyanaise. Convention n° 59.02. G 18/05 du 19/12/2005 entre le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche et l'Office National des Forêts – Direction régionale de Guyane. Rapport final, 81p.
[329] Citepa – Données internes résultant des divers audits (diagnostics et pré diagnostics) réalisés par le Citepa
[330] CONCAWE – Air pollutant emission methods for E-PRTR reporting by refineries, 2007
[331] UIC – données internes à la profession fournies par M. DECROUTTE le 5 novembre 2007
[332] ANPEA (Association nationale professionnelle pour les engrais et amendements) – Résultats enquête amendements basiques - http://www.anpea.com/
[333] AGRESTE – Irrigation et matériel 2005, enquête structure 2005 et recensement agricole 2000 (disponible sur le site de l'Agreste http://agreste.agriculture.gouv.fr/)
[334] GRDF – Communication annuelle des émissions nationales de CH4 au Citepa
[335] ADEME – Second état d'avancement de la mise en conformité des UIOM, 2005
[336] COLLET S. – HAP émis par la combustion du bois en foyers domestiques, INERIS, 2001
[338] COLLET S.– Emissions de la combustion du bois par les foyers domestiques, INERIS, mai 2002
[339] COLLET S. – Emissions de dioxines, furanes et d'autres polluants liés à la combustion du bois naturels et faiblement adjuvantés, INERIS, février 2000

[340] EMEP / CORINAIR Guidebook, section B-810-23, Décembre 2006
[341] COOPER D.A. – HCB, PCB and PCDD/F emissions from ships, Atmospheric Environment 39, Page 4908, Avril 2005
[342] EMEP / CORINAIR Guidebook, section B-810-23, Décembre 2006
[343] EMEP / CORINAIR Guidebook, section B-810-24, Décembre 2006
[346] Determination of atmospheric pollutant emission factors at a small coal-fired heating boiler, AEAT, March 2001
[347] COOPER D. - HCB, PCB, PCDD and PCDF emissions from ships, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, October 2004
[348] Arrêté du 31 mars 2008 relatif à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre pour la période 2008 – 2012
[349] EMEP / CORINAIR Guidebook, chapter « Source of PCB emissions », Décembre 2006
[350] Determination of atmospheric pollutant emission factors at small industrial wood burning furnace, AEAT, March 2001
[351] SESSI – Résultats annuels des enquêtes de branche
[352] UNICEM – Rapport annuel statistique à partir de 1999
[353] UNICEM – Communication de données internes, 2001
[354] KEPLEIS NE, APTE, MG, GUNDEL LA – Characterizing ETS emissions from cigars : chambers of nicotine, particle mass and particle size, 1999
[355] PNUE – Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et la quantification des rejets de dioxine et furanes, Février 2005
[356] Observatoire français des drogues et des toxicomanies (OFDT) – Séries statistiques annuelles « Vente de tabac et cigarettes – évolution depuis 1990 »
[357] TNO – Technical paper to the OSPARCOM – HELCOM – UNECE emission inventory, report TNO-MEP R93/247, p26, 1995
[358] EMEP CORINAIR – 3rd emission inventory guidebook, Chapter "Sources of PCB emission", December 2006
[359] GIEC 2006 – Biological Treatment of Solid Waste, Vol. 5, p 4.4
[360] MEEDDAT/DGEC – L'industrie pétrolière - Note annuelle sur les données des produits pétroliers
[361] ECOBILAN / ADEME – Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants, PCW 2002, Novembre 2002
[362] VERMOREL M., JOUANY J.P., EUGENE M., SAUVANT D., NOBLET J, DOURMAD J.Y. – Evaluation quantitative des émissions de méthane entérique par les animaux d'élevage en 2007 en France. INRA prod. Anim., 2008, 21 (5), 403-418.
[363] SOLAGRO – Communication personnelle de M. Couturier du 2 août 2002
[364] Syndicat National des Industries du Plâtre – communication de données internes relatives à la production annuelle
[366] ADEME – Communications personnelles de MM. Bajeat et Charre du relatives au taux de captage dans les décharges, 2002, 2009
[368] ADEME – Campagnes MODECOM (1993, 2007, 2017)
[371] EMEP / EEA Guidebook 2009, Chapter 6Cb « Industrial waste incineration, page 10/20
[372] INERIS – Caractérisation des biogaz- bibliographie - mesures sur sites, 2002
[373] GIEC 2006 – Traitement biologique des déchets solides, Volume 5, chapitre 4
[374] GIEC 2006 – Traitement et relargage des eaux usées, Volume 5, chapitre 6
[375] IFEN – Base de données EIDER, Rejets dans l'eau des principaux émetteurs industriels
[376] Décret n°2005-185 du 25 février 2005 relatif à la mise sur le marché des bateaux de plaisance et des pièces et éléments d'équipement
[377] BRGM/DPSM – Bilan méthane après-mines dans les bassins houillers français à partir de 2004, multi annuel
[378] ADEME – La pollution des sols liée aux activités de préservation du bois – 1998
[379] GIEC – Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapitre 2, page 2.20
[380] EURELECTRIC – European Wide Sector Specific Calculation Method for reporting to the European Pollutant Relase and Transfer Register, January 2008
[381] ERDF – Electricité Réseau Distribution France – rapport annuel « Développement Durable »
[382] IFN – Suivi de l'occupation du sol et des changements d'occupation du sol en Guyane par télédétection satellitaire – Premiers résultats transmis le 16/11/2009

[383] IFN – Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 1 – Guadeloupe – Rapport final août 2009
[384] IFN – Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 2 – Martinique – Rapport final août 2009
[385] IFN – Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 3 – Réunion – Rapport final août 2009
[386] ONF – Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l'inventaire national de gaz à effet de serre pour les forêts de la Guadeloupe, de la Martinique et de la Réunion – Rapport final novembre 2008
[387] L'officiel du cycle, de la moto et du quad – Numéro annuel spécial statistique
[388] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook - Group 7: Road transport – May 2009
[389] TAAF – www.taaf.fr, 2009
[390] JOST C. – www.clipperton.fr
[391] GIEC – Guidelines 2006, Chapter 2, Pages 2.17 and 2.18, Table 2.3 stationary combustion in manufacturing industries and construction
[392] OFEFP - Coefficients d'émission des sources stationnaires, édition 2000, page 145
[393] EMEP / CORINAIR Guidebook, Edition septembre 1999, page B4611-6
[395] EPA – AP42. Janvier 1995, page 11.16-8, table 11.16-4
[396] CONCAWE – Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries, 2009
[397] GIEC – Guidelines 2006, Chapter 2, Pages 2.15 and 2.16, Table 2.2 stationary combustion in the energy industries
[398] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook, Partie 1A2, table 3-24, May 2009
[399] ATILH – données internes communiquées le 28 octobre 2005 relatives à l'estimation du facteur d'émission de NH3 dans les cimenteries
[400] I.E.O.M. Institut d'Emission d'Outre Mer, rapport annuel
[401] I.E.D.O.M. Institut d'Emission des Départements d'Outre-mer, rapport annuel
[402] Observatoire Energie Réunion - Bilan énergétique 'île de Mayotte, année 2008, édition 2009
[403] DIMENC – Bilan de l'énergie de Nouvelle-Calédonie 2007 à 2009 + coefficients de conversion
[404] Elf Aquitaine – Communications personnelles chaque année
[405] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook — 2009, Technical report No 9/2009 – chapter 11.A Volcanoes
[406] http://www.volcano.si.edu/
[407] OFEFP – Coefficients d'émission des sources stationnaires, édition 2000, page 90
[409] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook, Part 1A2, table 3-26, May 2009
[410] SSP – AGRESTE. Données téléchargeables sur : http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne.
[412] ADEME – Communication de M. Erwan AUTRET du 20 octobre 2009
[413] IPCC – Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories - Background Papers - Annex 1 - Table 2 - CH4 default emission factors, 2000
[414] EMEP/EEA – Emission Inventory Guidebook, Part B111(S1)-6, December 2006
[415] SOeS – L'activité pétrochimique en France, Données 2005-2008, Chiffres & statistiques, Publication annuelle
[416] GIEC – Guidelines for national greenhouse gases inventories », 2006, Vol. 3, chap. 7
[417] FEDEM – Communication de données annuelles relatives à la consommation de plomb
[418] E. TRUFFAUT – La fabrication du ferro-manganèse aux hauts-fourneaux en France, Soleils d'Acier, 2004
[419] EMEP / EEA Guidebook – Chapter B111, page 55, 2006
[420] ADEME – Les installations de traitement des ordures ménagères, résultats 2008
[421] CEREN – Bilan national du bois de chauffage à partir des enquêtes Logement de l'INSEE, pluriannuelle
[422] Observ'ER : Synthèse annuelle du marché (anciennement SER – Brochure annuelle : le chauffage au bois domestique)
[423] Directive européenne 2002/88/CE relative aux moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers
[424] INRA INFOSOL – Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009

[425] GALY LACAUX C. – Modification des échanges de constituants mineurs liés à la création d'une retenue hydroélectrique : Impact des barrages sur le bilan de méthane dans l'atmosphère, 1996
[426] ADEME/MEDDTL/DGPR – Performances de captage de biogaz de décharges, 2010[367] ADEME - Outil de calcul des émissions dans l'air de CH4, CO2, SOx et NOx issues des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, mars 2003
[428] SOLAGRO – Note méthodologique : « Note d'estimation des gaz CH4 - CO2 - SOx - NOx des CET », 2002
[432] GIEC – Guidelines 2006, Volume 5, Chapitre 5, page 5-18
[433] EMEP/EEA – Emission Inventory Guidebook 2009, Chapter 6Cb Industrial waste incineration, May 2009
[434] Comité des Plastiques Agricoles (CPA) – Communication personnelle de Claude BERGER, 2010.
[435] FAO – Dietary Protein consumption per countries (extraction du site FAO 24/10/2010)
[436] MEDDTL – IREP, Déclarations des industriels (rejets directs en azote)
[437] GIEC – Good Practice Guidance, Chapter 4, p 4.73
[438] GIEC – Reference Manual, Chapter 4.5.4, Table 4-24
[439] IFEN – L'assainissement en France en 1998 et 2001, février 2006
[440] IFEN/SCEES – Enquête eau et assainissement 2004 dans les collectivités locales, 2006
[441] EMEP/CORINAIR – Guidebook 1996, Volume 2, page B 9103-2
[442] ADEME – Les marchés des activités liées aux déchets (publications régulières)
[443] MEDDTL – Efficacité énergétique du transport maritime, 2008
[444] EUROSTAT – Tables matricielles croisant le nombre de touchées de navires par Grand Port Maritime par classes de port en lourd et types de navires, 2007
[445] LLOYD'S – Base de données Seaweb, flotte et caractéristiques techniques des navires, 2007
[446] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2009 – secteur 1A1b – SNAP 010301/010302/010306 – FE NOx – p 43 à 49
[447] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2009 – secteur 1A1b – SNAP 010305 – FE NOx – p 50 et 51
[448] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2009 – secteur 1A1a – SNAP 010304 assimilée à SNAP 010104 et 010105 – FE NOx – p 33 et 34
[449] CONCAWE – Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries - 2009 edition, p 83
[450] GIEC – Guide sur les Bonnes Pratiques, 2003, chapitre 2 « Energie », tableau 2.16, page 2.86, « Pétrole conventionnel »
[451] EMEP EEA Emission Inventory Guidebook – May 2009, Section 1A4, table 3-28
[452] INSEE – Publication annuelle – Les consommations d'énergie dans l'industrie
[453] NERI – Heavy metal emissions for Danish road transport, technical report n° 780, 2010
[454] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook –– Technical report N° 9/2009- 1.A.3.b Road transport (update June 2010)
[456] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – Technical report N° 9/2009- 1.A.3.b.vi Road tyre and brake wear
[457] Fédération des industries du verre – Rapport d'activité annuel
[458] Citepa – Etude comparative des rejets atmosphériques des principales énergies de chauffage – Avril 2003
[459] EMEP / EEA Guidebook – édition 2019 – 1A4 Small combustion - FE pour le 1A4b residential (Tables 3-15, 3-16, 3-18)
[460] Default emission factor Handbook 2nd edition - Janvier 1992 - Commission of european community
[462] EMEP / CORINAIR Guidebook – Février 1996 – Section « Small consumers »
[463] EMEP EEA Guidebook - Mai 2009 – Secteur 1A1 – Table 3-7 "Heavy fuel oil"
[464] EMEP / CORINAIR Guidebook – Mai 2009 - 2A6 - Table 3-1
[465] INSEE – Statistiques ProdFRA de 2008 à année N-1 – production de panneaux de particules (codes 1621131310 ; 1621122420 ; 1621135000 ; 1621131320)
[466] Arrêté du 3 octobre 2010 relatif au stockage en réservoirs aériens manufacturés de liquides inflammables exploités dans un stockage soumis à autorisation au titre de la rubrique 1432 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement
[467] Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction (CTMNC) – Données internes relatives à la composition des matériaux, 2011

[468] CORPEN – Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux vaches laitières et à leur système fourrager. Influence de l'alimentation et du niveau de prouction. Groupe "Alimentation animale" Sous groupe « Vaches laitières", 1999
[469] CORPEN – Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux bovins allaitants et aux bovins en croissance ou à l'engrais, issus des troupeaux allaitants et laitiers, et à leur système fourrager, 2001
[470] CORPEN – Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre, zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites, 2003
[471] CORPEN – Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, calcium, cuivre, zinc par les élevages avicoles. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections, 2006
[472] Ph. Schmidely, F. Meschy, J. Tessiera and D. Sauvant – Lactation Response and Nitrogen, Calcium, and Phosphorus Utilization of Dairy Goats Differing by the Genotype for αS1-Casein in Milk, and Fed Diets Varying in Crude Protein Concentration. Journal of Dairy Science. Volume 85, Issue 9, September 2002, Pages 2299-2307.
[473] William MARTIN-ROSSET – Nutrition et alimentation des chevaux. Editions QUAE, 2012
[476] Biomasse Normandie – Evaluation des quantités actuelles et futures des déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités. Lot 3 : Effluents d'élevage. Rapport final, 2002
[477] CNIEL, Institut de l'élevage – Observatoire de l'alimentation des vaches laitières. Données 2007
[478] Fichier réalisé par l'Institut de l'Elevage suite à une extraction des données des PMPOA 1 et 2. Communication du 31/01/2011
[479] IFIP – Le porc par les chiffres 2009
[480] Résultats des Enquêtes Bâtiment 1994, 2001 et 2008. Service de la statistique et de la prospective, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement de Territoire
[481] EMEP/EEA Guidebook – 4B Animal husbandry and Manure Management, 2009
[482] B. Meda, P. Robin, C. Aubert, C. Rigolot, J.-Y. Dourmad and M. Hassouna, – MOLDAVI: A dynamic model simulating nutrient and energy flows from broiler rearing systems. A paraître dans Animal Sciences
[483] EMEP/EEA 2006. Manure Management regarding organic compounds. Group 10
[484] IIASA, Klimont Z, Cofala J, Bertok I, Amann M, Heyes C, Gyarfas F. – Modelling particulate emissions in Europe, A framework to estimate reduction potential and control costs. Interim report IR-02-076. December 2002, table 3.74
[485] MAAF / SSP – Résultats des Enquêtes Pratiques Culturales 2000, 2005, 2011, 2017,
[486] Citepa – Méthodologie d'estimation des quantités de matière sèche et d'azote contenues dans les résidus de culture en France, 2013.
[487] EMEP/EEA – 4B Crop production and agricultural soils, 2009
[488] INERIS – Facteurs d'émission de polluants de feux simulés de déchets et de produits issus de la biomasse, 2011
[489] ADEME – Enquête nationale sur la gestion des déchets organiques - septembre 2008
[490] EMEP / EEA – Chapitre 4F Field burning of agricultural wastes, 2009
[491] ARER/OER (Observatoire Energie Réunion) – Bilan énergétique de la Réunion, Chiffres clés, publication annuelle
[492] DIMENC – Données internes du gouvernement de Nouvelle-Calédonie relative au bilan énergétique, 2011
[493] IFN/FCBA/SOLAGRO – Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020, Novembre 2009
[494] ANMF – Fiches statistiques
[495] ANSES / AFSSA – Enquête INCA (Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires), 1999
[496] ANSES / AFSSA – Enquête INCA2 (Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires), 2009
[497] Direction générale des douanes – importation et exportation du carbure de calcium
[499] Kreider et al. – Physical and chemical characterization of tire-related particles: Comparison of particles generated using different methodologies – Science of total environment, 2010, p 632-659
[500] ADEME – Véhicules particuliers vendus en France. Evolution du marché, caractéristiques environnementales et techniques. Données et Références. Publication annuelle
[501] MIQUEL G. – Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport n° 261 du Sénat, avril 2001
[503] CORPEN – Estimation des rejets d'azote par les élevages avicoles. Groupe alimentation animale, sous-groupe aviculture, 1996
[504] CORPEN – Estimation des rejets d'azote - phosphore - calcium - cuivre et zinc par les élevages avicoles. Mise à jour des références CORPEN - Volailles de 2006, 2012, 61p.

[505] IFIP – GTE : Evolution des résultats moyens nationaux
[506] Haras Nationaux – Chiffres Clés de la filière équine, 2011 –. http://www.haras-nationaux.fr/fileadmin/bibliotheque/chiffres-2011-internet.pdf
[507] Haras Nationaux, 2012. Annuaire de la monte 2011 – Chiffres globaux, 2012 – http://www.haras-nationaux.fr/uploads/tx_dlcubeargus/chiffres_globaux_elevage.pdf
[508] EUGENE M., DOREAU M., LHERM M., VIALLARD D., FAVERDIN F., SAUVANT D. – Rapport préliminaire du projet MONDFERENT « Emissions de méthane par les bovins en France », 2012, 57p. à paraître.
[509] EUGENE M. – Outil de calcul accompagnant le rapport préliminaire du projet MONDFERENT « Emissions de méthane par les bovins en France », 2012, non publié.
[510] SAUVANT D., GIGER-REVERDIN S., SERMENT A., BROUDISCOU L. – « Influences des régimes et de leur fermentation dans le rumen sur la production de méthane par les ruminants » – INRA Prod. Anim., 24, 2011, 429-442
[511] MEDDE/DEB – Base de Données sur les Eaux Résiduaires Urbaines, 05/03/2012
[512] ADEME – ITOM : Les installations de traitement des ordures ménagères, résultats 2010
[513] INERIS – Caractérisation des biogaz – Bibliographie – mesures sur sites, 2002
[514] EPA – Background information Document for Updating AP42 section 2,4 for estimating Emissions from Municipal Solid Waste Landfills, 2010
[515] ADEME – Communications personnelles, 2000-2002
[516] ADEME – ITOM 6 : sixième inventaire des installations de traitement, de transit ou de mise en décharge de déchets ménagers et assimilés en France, 1995, p. 35
[517] Syndicat national du charbon de bois – Données annuelles internes
[518] Fédération nationale du bois – Données internes à partir de 2009
[519] Environnement Canada – Division des gaz à effet de serre – " La production d'aluminium de première fusion - Guide pour l'estimation des gaz à effet de serre produits par des systèmes de combustion et des procédés industriels ", mars 2004
[520] EReIE – Inventaires d'émissions de gaz fluorés dans le secteur d'activité des mousses d'isolation – résultats, novembre 2012
[521] GSK – GlaxoSmithKline – communication annuelle de données internes
[522] Arrêté du 22 septembre 2005 relatif à la réception des moteurs destinés à être installés sur les engins mobiles non routiers installés sur les engins mobiles non routiers
[523] US EPA – AP42 Ch.11 – Mineral product industry & Ch. 13 – Miscellaneous sources, 1995.
[525] Arrêté du 31 octobre 2012 relatif à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre pour sa troisième période (2013-2020)
[526] Données fournies par des producteurs de sucre, juillet 2009
[527] SNFS (Syndicat National des Fabricants de Sucre) – Données internes, octobre 2012
[528] IPCC Guidelines for National Greenhouse Gases Inventories – 2006, Chapitre 4 : Metal Industry Emissions, p4.65
[529] IPCC Guidelines for National Greenhouse Gases Inventories de 1996 – Page 2.7
[530] BREF Fabrication des polymères, Août 2007 – Chapitre PVC – p. 107 et 108
[532] SSP – Mémento Agreste Filière Forêt-Bois édition 2012
[533] IGN – Communication personnelle, septembre 2012
[534] ONF – Communication personnelle, septembre 2012
[535] Chambre d'Agriculture de la Somme – Epandage des produits organiques, Cahier Technique, Annexe 2, Août 2010
[536] Citepa/MEDDE – Enquête auprès des exploitants d'ISDND sur les quantités de déchets stockés, 2012
[537] ADEME – Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets, 2005
[538] EMEP/EEA emission inventory guidebook 2016 – Chapitre 2.C.2 Ferroalloys production
[539] USGS Minerals Information - Aluminium
[540] Guide EMEP/EEA 2013 – Chapitre 2.C.3
[541] http://ledialoguesurlaluminium.com/laluminium/sa-fabrication/laluminium-de-première-fusion
[542] PULLES T. et al. – Emission factors for heavy metals from diesel and petrol used in European vehicles, Atmospheric Environment 2012, n°61, pp 641-651
[543] EMEP/EEA – Air Pollutant Emission Inventory Guidebook – Technical report N° 12/2013 - 1.A.3.b.vi Road tyre and brake wear

[544] EMEP/EEA – Air Pollutant Emission Inventory Guidebook -– Technical report N° 12/2013 - 1.A.3.b Road transport
[545] EEA – Données annuelles relatives à la surveillance des émissions de CO2 des véhicules particuliers en application du règlement 443/2009
[546] Observatoire national interministériel de la sécurité routière – Bilans annuels de la sécurité routière en France
[547] ANDRE M. et al. – Statistiques de parcs et trafic pour le calcul des émissions de polluants des transports routiers en France, rapport provisoire de l'IFSTTAR, 2013
[548] MEDDE/CGDD/SOeS – Enquêtes annuelles sur le transport routier de marchandises (TRM)
[549] MEDDE/CGDD/SOeS – Le transport collectif routier de voyageurs (publication annuelle)
[550] MEDDE/CGDD/SOeS – Enquêtes sur l'utilisation des VUL (publication quinquennale depuis 1986)
[551] MEDDE/CGDD/SOeS – Enquête sur l'utilisation des deux-roues motorisés, 2012
[552] DOUANES – Données annuelles de mise à la consommation d'agro-carburants issues des déclarations relatives à la TGAP (données non publiques)
[553] EMEP/EEA – Emission Inventory Guidebook 2013 – 1.A.3.c Railways
[554] Buckowiecki et al. – Iron, manganese and copper emitted by cargo and passenger trains in Zürich (Switzerland): size-segregated mass concentrations in ambient air, 2006
[555] EMEP/EEA – Emission Inventory Guidebook 2016 – 1.B.2.c -Tier 1 - Venting and flaring (p 9 - table 3-1)
[556] Base aérienne 702 - communication de données internes, octobre 2013
[557] Société Française de Radiothérapie Oncologique – Livre blanc de la radiothérapie en France, 2013
[558] GTT - communication de données internes, 2013
[559] Service statistique du Ministère en charge de l'environnement - SDES (ex SOeS et ex Observatoire de l'énergie) – Logement et construction Sit@del2 (publication annuelle)
[560] EMEP/EEA – Emission Inventory Guidebook 2013 – 1A2 Cement production (table 3-24)
[561] CFA – Comité Français des Aérosols – Estimation des ventes d'aérosols de crème chantilly en France et quantité de N2O contenu dans un boitier, 2013
[562] EMEP / CORINAIR Guidebook 1999, section B146-11 coke oven furnaces, table 8-2
[563] ADEME/ATEE/ Club Biogaz – Etat des lieux de la filière méthanisation en France (rapport finalisé sept. 2011), page 44, 2011
[564] ADEME/ATEE/ Club Biogaz – Etat des lieux de la filière méthanisation en France (rapport finalisé sept. 2011), pages 25-26, 2011
[565] EMEP / EEA – Emission Inventory Guidebook 2023 – 5.C.1.b.v Cremation (p9 - table 3-1)
[566] DIRECTION DE LA SECURITE CIVILE – Services d'incendie et de secours, statistiques annuelles
[567] ADEME – Amélioration de la connaissance des émissions atmosphériques liées aux brûlages de véhicules – contribution de cette source à l'inventaire national d'émissions, 2013
[568] EMEP / EEA – Emission Inventory Guidebook 2013 – 5.E Other Waste, Tier 2 Emissions factors, car fires (p.6)
[569] EMEP/EEA 2013 – 6.C Industrial waste incineration including hazardous waste and sewage sludge (page 11, table 3-2)
[570] EMEP / EEA 2013 – 6.C Industrial waste incineration including hazardous waste and sewage sludge (page 10, table 3-1)
[571] EMEP / EEA 2023 – 5.C Clinical waste incineration (page 8, table 3-1)
[573] Tinus et al. – Atmospheric Environment 61, 2012, 641-651
[574] EMEP / EEA 2013 – 1A4 Non-road mobile source & machinery, Table 3-1 (Tier 1)
[575] EMEP / EEA 2013 – 1A4 Small combustion, Table 3-13
[576] EPA – AP 42 Compilation of air pollutant emission factors, version en vigueur en Août 2013
[577] California Air resources Board – CATEF (California Air Toxics Emission Factor) – Base de données (http://www.arb.ca.gov/ei/catef/catef.htm), Facteurs d'émission pour les HAP
[578] Brasseurs de France – Statistiques de vente 2006-2010 (www.brasseurs-de-france.com), novembre 2013
[579] EMEP/EEA 2013 – Section 2.H.2 Food and beverages industry
[580] EMEP / EEA Mai 2009 – Secteur 1A4, Tables 3-22, 3-28 et 3-20
[583] EMEP / CORINAIR Guidebook 1996 – section B333-6
[584] Citepa – Technical note on BAT in iron foundry industry, 1992, page 34
[585] EMEP / CORINAIR Guidebook 1996 – section B339-5

[586] Guidebook EMEP/EEA 2013 Part B – Section 2C7a Copper production - Table 3.2
[587] EPA – AP42, Janvier 1995, tableau 12.12-1
[588] EMEP / CORINAIR Guidebook 1999 – section B427-5 à 7
[589] EMEP / EEA 2013 – Section 2.C.7.b Nickel production, Table 3.1
[590] GIEC – Guide sur les Bonnes Pratiques, 2003, chapitre 4, table 4.6
[591] MEDDE – Evaluation des quantités actuelles et futures de déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités, 2002, p 51-52. Disponible à l'adresse suivante : http://www.biomasse-normandie.org/IMG/pdf/rapport.pdf.
[592] Mestrapports, Vlaamse Landmaatschappij - Disponibles à l'adresse suivante : https://www.vlaanderen.be/publicaties/mestrapport
[593] EMEP / CORINAIR Guidebook 1996 – section B146-6
[594] IGN - http://inventaire-forestier.ign.fr/
[595] VALLET et al – Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France, 2006
[596] ANDERSEN A. – Biomasse Normandie. Le chauffage domestique au bois – Approvisionnement et marchés. Réalisée pour l'ADEME, 1999
[597] Les cahiers du CLIP – La ressource en bois énergie, n°3 Octobre 1994
[598] AFOCEL – CTBA – Communication personnelle
[599] GUERIN F. – Emission de gaz à effet de serre (CO2,CH4) par une retenue de barrage hydroélectrique en zone tropicale (Petit-saut, Guyane française) : expérimentation et modélisation. Thèse soutenue en 2006
[600] DESCLOUX – EDF – Mise à jours de données de la thèse de F. GUERIN pour le barrage de Petit-Saut, 2013
[601] DRAAF Réunion – Surfaces incendiées annuellement sur l'île de La Réunion
[602] ONF – Université de Louvain – Analyse du réseau RENECOFOR, 2013
[603] GIEC – Guidelines for national greenhouse gases inventories », 2006, Vol. 3 chap.4.7, paragraphe 4.7.2.2, p 4.80
[604] Commission européenne – Règlement UE N°601/2012 du 21 juin 2012 relatif à la surveillance et à la déclaration des émissions de gaz à effet de serre au titre de la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil
[605] ADEME – Déchets / Chiffres clés, édition 2014
[606] GIEC – Guidelines 2006, Volume 5 Déchets, Chapitre 3
[607] GIEC – Guidelines 2006, Volume 5, Chapitre 3, Table 3.2
[608] MEDDE – Bureau de la Planification et de la Gestion des Déchets – Plan déchets 2014-2020, selon les hypothèses d'application du scénario de prospective tendancielle à l'horizon 2025
[609] IGN – GEOFLA
[610] INSEE (www.insee.fr)
[611] IEDOM/IEOM (www.iedom.fr / www.ieom.fr)
[612] Commission européenne – Annexe 1 aux lignes directrices DAU (TAXUD/1619/08 rev.3.4): Liste des pays de l'Union européenne, novembre 2013
[613] GIEC – Lignes directrices 2006 pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre – Volume 3 Procédés industriels et utilisation des produits – Chapitre 2 – section 2.2
[614] Lignes directrices du GIEC – Version 2006 – Chapitre 2 : émissions dans l'industrie minérale – tableau 2.4
[615] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 5, Chapitre 6, Tables 6.2, 6.3, 6.4
[616] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 5, Chapitre 6, Wastewater treatment and discharge, 6.3.1.2 choice of emission factors
[617] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 5, chapitre 2, table 2.4
[618] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 2, chapitre 2.1
[619] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 5, chapitre 5, table 5.3
[620] GIEC – Lignes directrices 2006, Chapitre 5, table 5.6
[621] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 5, Chapitre 5, table 5.2
[622] INSEE – Indice de la production industrielle - Produit détaillé dans les industries manufacturières
[623] GIEC – Lignes directrices 2006, Chapitre 2, Table 2.3 (combustion stationnaire)
[624] GIEC – Lignes directrices 2006, Chapitre 3, Combustion mobile, Table 3.3.1 et 3.2.2
[625] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook – Table 3-24 cement production - 1A2, Edition 2013

[626] EMEP/EEA Emission inventory guidebook – Edition 2013 – Chapitre 1.B.1.b Fugitive emissions from solid fuels ; solid fuel transformation, Section 3.2.2, table 3-1 Tier 1 emission factors
[627] GIEC – Lignes directrices 2006, Chapitre 4, Fugitive emissions, Table 4.2.4, p4.50
[628] EMEP / EEA 2013 – Section 1.B.2.a.v Distribution of oil products, p.17
[629] Transport Infrastructure Gaz France (TIGF) – Données internes, avril - octobre 2014
[630] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – Technical report N° 12/2013- 1.A.3.b.v Gasoline evaporation
[631] OREC (Observatoire Régional de l'Energie et du Climat) créé en 2013 – Bilan énergétique de la Guadeloupe, publication annuelle
[632] OREDD (Observatoire Régional de l'Energie et du Développement Durable) créé en 2008 – Bilan énergétique de la Guyane, publication annuelle
[633] OMEGA (Observatoire Martiniquais de l'Energie et des Gaz à effet de serre) créé en 2013 – Bilan énergétique de la Martinique, publication annuelle
[634] COGO Base Carbone du 19 septembre 2012 – PCI anhydre moyen du bois
[635] IPCC – 2006 Guidelines for National Greenhouse gas Inventories – Volume 2 – chapitre 1 – table 1.2
[637] EMEP/EEA Guidebook – edition 2019 – 1A1 Energy industries - Appendix C sulphur content in fuels – contenu en soufre du gaz de haut fourneau (blast furnace)
[638] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - section I.8 - table 1- 4 (CO2) ; Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 (CH4 et N2O)
[639] Données internes Gaz de France basées sur des mesures
[641] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 3 – Industrial Processes and product Use – Chapter 1: Introduction
[642] EMEP/EEA guidebook, 1A3b road transport, version 2013 updated 09/2014
[643] Commission Européenne – BREF Incinération des déchets p406 et 412 – Août 2006
[644] Direction générale des douanes – importation et exportation d'urée – Donnée annuelle https://lekiosque.finances.gouv.fr
[645] IPCC – Guidelines 2006 – Volume 2 – Chapitre 3 Combustion sources mobiles, Table 3.3.1
[646] IPCC – Guidelines 2006 – Volume 2 – Chapitre 2 Combustion sources fixes, Table 2.5
[647] EMEP EEA Guidebook – mai 2009 - Secteur 1A4, table 3.22
[648] F2 Chemicals – Communication de données internes annuelles
[649] ADEME – Déclaration des flux de SF6 dans le secteur des équipements électriques
[650] Oko-Recherch – « SF6 Bestand und Emissionen aus Teilchenbeschleunigern », 2012
[651] INRA – communication de données internes, 2014
[652] IRSN – communication de données internes, 2014
[653] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 5, section 5.2.2.2
[654] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 5, section 5.3.2.2
[655] Aubert et Coutelet, 2013, Les rejets d'azote et de phosphore par les élevages de lapins : évolution et perspectives. TeMA n°28 - octobre/novembre/décembre 2013
[656] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 10
[657] CIV, 2012. Alimentation des bovins : rations moyennes et autonomie alimentaire
[658] INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins - Besoins des animaux - Valeurs des aliments - Tables INRA 2007
[660] MeteoFrance, www.meteofrance.com
[661] Ecosecurities – Citepa, 2007. Méthodologie spécifique pour les projets de Méthanisation des effluents d'élevage
[662] Enquêtes TERUTI, 1992-2003, Service Statistique et Prospective du Ministère de l'Agriculture.
[663] La culture du riz en Camargue http://www.rizdecamargue.com/section/culture/une-r%C3%A9gion-un-m%C3%A9tier
[666] Bilan de l'énergie Outre-mer annuel compilé par le Citepa
[667] Gasoline Aviation Designation, DERD 2485, 91-90/Issue 1, 8 May 1996
[668] Edition annuelle du Bilan RSE SNCF
[669] GIEC – Guidelines 2006, Volume 2, Chapitre 3

[670] Commission des Comptes et Transports de la Nation (CCTN), Les transports, éditions annuelles. Section transport de marchandises - Tableau E.4.c
[671] EMEP/EEA Emission inventory Guidebook 2013, Navigation section
[672] GIEC 2006 – Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4
[673] IGN – ONF Suivi de l'occupation du sol et des changements d'occupation du sol entre 1990 et 2012, Novembre 2014
[674] Carbone 4. Méthode opérationnelle de comptabilisation des produits-bois dans l'inventaire national GES, Juin 2014.
[675] Emission factors for heavy metals from diesel and petrol used in European vehicles - Table 6. Atmospheric environment 61 (2012) 641-651. Pulles et al.
[676] Guide méthodologique E-PRTR de déclaration des rejets pollutants des sites thermiques à flamme
[677] CONCAWE - Air Pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries, 2009 edition, HAP unece pour le gaz de raffinerie (p78 - table 29)
[678] Guidebook EMEP-2009 p.122
[679] Caractéristiques des gisements de gaz naturel http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/archives/donnees%206eme%20edition%201994/produits%20organiques/gaznaturel.htm
[681] Emissions of Black carbon and Organic carbon in Norway 1990-2011
[682] FE CO2 par défaut du transport aérien, CENWG10 EG 5 : "Default values for air transport" – FNAM, Date: 11/02/2010
[683] CEFIC – European Chemical Industry Council. Communication de données sectorielles pour le nettoyage à sec et le dégraissage.
[684] INSEE – Données statistiques sur les productions de produits à base de solvants ou aqueux (peintures, encres, etc.) (ProdFRA de l'année 2009 à n-1)
[685] Direction générale des douanes et droits indirects – Données imports/exports
[686] ADEME - Panorama du marché du polyuréthane et état de l'art de ses techniques de recyclage (février 2014)
[687] Citepa - Mise à jour des données relatives aux moyens de réduction des émissions de pentane issues de la transformation du polystyrène expansé. Citepa, 2015
[688] ADEME – Observatoire des Fluides Frigorigènes
[689] Etude isOlafrance sur la production de polyuréthane projeté http://www.association-technique-polyurethane-projete.fr/
[690] BASF - Communication confidentielle annuelle
[691] Lignes directrices du GIEC 2006 – Volume 3 – Chapitre 7 – Tableaux 7.6 et 7.7
[692] GIFAM - Communication confidentielle annuelle
[693] Siemens – informations sur le taux d'émission de HFC lors du recyclage
[694] DuPont – Communication annuelle de données internes
[695] Solvay – Communication annuelle de données internes
[696] Schneider Electric – taux de perte vidange du SF6 des équipements en fin de vie
[697] BORT R., ANDRE J-M., SERVEAU L. – Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère d'une zone aéroportuaire à l'exception des aéronefs - Citepa, 2013
[698] SSP – AGRESTE. PRODCOM - Production commercialisée des produits des IAA. Données téléchargeables sur : https://stats.agriculture.gouv.fr/disar-web/accueil.disar
[699] Projet CORTEA EMICER : Estimation des émissions liées à la manutention et au séchage des céréales. Note du Citepa 2015
[701] MEDDE /CGDD /Ministère des Travaux Publics, des Transports et du Tourisme/SES. Mémento de statistiques des transports — Résultats de 1980 à 2014, éditions bisannuelles. Chapitre 6 Navigation intérieure — Tableau 6.5.1.
[704] Institut de l'élevage – Communication des poids moyens relatifs aux ovins en France. 2015
[705] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 3, chap. 3, page 3.75
[706] IFA – FAO - Estimation des émissions gazeuses de NH3, NO et N2O par les terres agricoles à l'échelle mondiale - édité en 2003

[707] MAAPRAT / SSP – Résultats des Enquêtes Pratiques Culturales 2006 (viticulture), Résultats des Enquêtes Viticulture 2013
[708] AMADEPA - Le brûlage de la canne à sucre en Martinique : évolution, motivations, impacts. De la nécessité d'un engagement collectif, 2007
[709] CIRAD – LA canne à sucre et l'environnement à la Réunion, 2005
[710] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 4, Chap. 12
[712] A3M – Communication de données annuelles relatives à la consommation de plomb
[713] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Part B section 2C Lead production
[714] Recytech - Communications annuelles
[715] Routes de France, anciennement USIRF (Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française) - Les produits de l'industrie routière. Publication annuelle
[717] Citepa - Analyse réglementaire relative aux émissions atmosphériques des installations de production d'enrobés routiers. Rapport d'étude et base de données B11. Janvier 2016, confidentiel
[718] Marland, E. S., Stellar, K. & Marland, G. H. A distributed approach to accounting for carbon in wood products. Mitigation Adapt. Strat. Glob. Change 15, 71:91 (2010).
[719] INRA, Unité Infosol, Base de données géographique des sols de France, 1999.
[720] Cubizolle, H., Mouandza, M. M., & Muller, F. (2013). Mires and Histosols in French Guiana (South America): new data relating to location and area. Mires and Peat, 12(3), 1-10.
[721] Robert C. 2016, Comprendre les changements d'utilisation des terres en France pour mieux estimer leurs impacts sur les émissions de gaz à effet de serre. De l'observation à la modélisation. Thèse de doctorat en Géographie, Université Paris-Diderot, ADEME-Citepa-LADYSS, 530p
[722] JRC, Carte des zones climatiques en Europe, d'après le Giec.
http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/RenewableEnergy/
[723] base de données sur les incendies de forêt (BDIFF). bdiff.ifn.fr
[724] "SDIS974, Dispositif de lutte contre les feux de forêts à La Réunion Saison 2015. Présentation du dispositif de lutte contre les feux de forêts. Mercredi 7 octobre 2014
http://www.sdis974.re/fileadmin/user_upload/les_rencontres_de_la_securite__2015/2015_DISPOSITIF_FEUX_DE_FORET_dossier_de_presse.pdf"
[725] "Feux de végétation - d'après l'etat major de la zone de défense de Guyane
http://www.guyane.pref.gouv.fr/Politiques-publiques/Protection-de-la-population/Enseignements-et-evenements-reels/Les-feux-de-vegetations-en-Guyane-et-retour-d-experience
"
[726] "Orientations Forestières du Département de Mayotte Préfigurant le Programme de la Forêt et du Bois du Département de Mayotte, 2015.
voir pages utilisées dans l'onglet DOM, section Mayotte
http://www.mayotte.pref.gouv.fr/content/download/4924/41778/file/OFDM-PFBDM%20Mayotte_versionFinale.pdf"
[727] Eurobitume – European bitumen consumption statistics. Publication annuelle depuis 2008
[728] ToiturePro – Bardeaux d'asphalte, Description du produit - https://www.toiturepro.com/revetement/bardeau-d-asphalte
[729] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Part B, 2.D.3.c Asphalt roofing
[730] R. Sonan Occho. CCCFA. adblue® pour véhicules légers diesel (véhicules particuliers, véhicules utilitaires légers). Réunion UIP/CCFA – Octobre 2014
[731] GIEC, IPCC Waste Tool (modèle de cinétique de dégradation d'ordre 1 des déchets)
[732] GIEC – Guidelines 2006, Volume 5, Chapitre 2, Table 2.4
[733] Rhodia – Communication de données confidentielles. Octobre 2002
[734] SESSI/INSEE - Enquêtes (2006, 2008, 2012) sur la production des déchets dans l'industrie
[735] EMEP/EEA 2013 – 5A Biological treatment – Solid waste disposal on land
[736] ADEME - Programmme de recherche de l'ADEME sur les émissions atmoshériques du compostage - connaissances acquises et synthèse bibliographique;
[737] SYPRED - Panorama de la gestion des déchets dangereux (tonnages traités en France de 2012 à 2019)
[738] GIEC - Lignes Directrices 2006, Volume 5, chapitre 5, paragraphe 5.4.2

[739] Jared Downard & al. - Uncontrolled combustion of shredded tires in a landfill Part 1 : characterization of gaseous and particles emissions, 2015
[740] EMEP / EEA Emission inventory guidebook 2013 – 2.B Chemical industries
[741] EMEP / EEA Emission inventory guidebook 2023 – 5.C.2 Open burning of waste / Table 3-1 : Tier 1 Emissions factors for small scale burning
[742] Pechiney – Vérification des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre de l'Engagement Volontaire AERES – Périmètre France Années 2001, 2002 et 2003. Octobre 2004
[743] GIEC - Lignes Directrices 2006, Volume 5, chapitre 5, paragraphe 5.2.1.1, equation 5.2
[744] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Part B section 2C Aluminium production
[745] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Part B section 2D3b Road paving with asphalt
[746] IIASA - Interim report: Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous particles in Europe and the Potential for their Control - Kaarle Kupiainen, Zbigniew Klimont, 2004
[747] EMEP / EEA Mai 2009 – Secteur 1A4, Table 3-9 « Other liquid fuels »
[748] UNEP - Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases. Edition 2.1 - Décembre 2005 - UNEP Chemicals - Table 35, 37, 48, 50
[749] INSEE – Statistiques ProdFRA
[750] MEDDE - Publication "Vers l'interdiction du perchloréthylène en France" - Aout 2013
[751] CEMAGREF -Le lagunage naturel, leçons tirées de 15 ans de pratiques en France (96/0219), 1997
[752] Ministère de l'environnement - Base de Données sur les Eaux Résiduaires Urbaines
[753] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 2A1 Cement production - table 3.1
[754] US EPA - AP 42 - 5ème édition, Volume 1 - Chapter 11.6 : portland cement manufacturing
[755] IIASA - A framework to estimate the potential and costs for the control of fine particulate emissions in Europe, Interim Report IR-01-023 - 2001.
[756] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1A2 Manufacturing industries and construction - table 3.3 Tier 1 emission factor for 1A2 combustion in industry using gaseous fuels
[757] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 2A3 Glass Production, tables 3.2 à 3.7
[758] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 2A2 Lime Production, table 3.1
[759] http://outils.ifip.asso.fr/CritStand/CourbeCroit/Default.aspx
[760] Agreste, 1999. La cuniculture française - Enquête cuniculture 1994. Les cahiers de l'Agreste novembre 1999 n°42 et 43.
[761] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1.A.2 Manufacturing industries and construction (combustion), tables 3-2 à 3-5
[762] Methodology report on the calculation of emissions to air from the sectors Energy, Industry and Waste, as used by the Dutch Pollutant Release and Transfer Register – National Institute for Public Health and the Environment – RIVM Report 2016-0055 – page 48
[763] GIEC – Guidelines 2006, Volume 3, Chapitre 2, Industrial industry - Table 2.1
[764] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1.A.1 Energy industries, table 3-2 Tier 1 emission factors for source category 1.A.1.a using hard coal
[765] HOULLIER C. et CROZET B. - Analyse critique des méthodes utilisées par différents pays pour établir leurs inventaires nationaux d'émissions de dioxyde de carbone - mai 1992, Citepa
[766] Rapport CARBOFOR - teneur moyenne en carbone du bois (page 65), Juin 2004
[767] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1.B.1.b Fugitive emissions from solid fuels - Solid fuel transformation, Table 3-1 Tier 1 emission factors for source category 1.B.1.b Solid fuel transformation
[768] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1.A.1 Energy industries, table 3-5 Tier 1 emission factors for source category 1.A.1.a using heavy fuel oil
[769] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 2.C.1 Iron and steel production, Table 3.1 Tier 1 emission factors for source category 2.C.1 Iron and steel production
[770] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 2.C.2 Ferroalloys production, Table 3.1 Tier 1 emission factors for source category 2.C.2 Ferroalloys production
[771] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 3_1_Chapitre 1_Introduction, Box 1.1

[772] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 3_5_Chapitre 5_Non energy products from fuels and solvent use, paragraphe 5.5 Solvent use
[773] EDF – Electricité de France – rapport annuel « Développement Durable »
[774] Enertime – Base de données système ORC en France, 2016
[775] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Table 3-28 p63 et Table 3-30 p65
[776] Communication personnelle de COOP de France Déshydratation sur les données de production et de consommation d'énergie pour le secteur de la déshydratation de fourrage vert
[777] Méthode de Quantification des Flux Annuels des Unités de Déshydratation des Fourrages pour les Polluants du Registre E-PRTR - Etude LRD/Citepa - Février 2021 – ETUDE CONFIDENTIELLE
[778] Rapport de synthèse réglementaire - Impact du préfanage à plat sur les rejets de polluants atmosphériques des installations du secteur de la déshydratation - Etude LRD/Citepa - Juillet 2010 - ETUDE CONFIDENTIELLE
[779] MISE A JOUR DU FACTEUR D'EMISSION DES COVNM DES INSTALLATIONS DE DESHYDRATATION DE FOURRAGE UTILISE DANS LE CADRE DE L'ARRETE GEREP - Citepa pour COOP de France - Avril 2016 - ETUDE CONFIDENTIELLE
[780] Compte rendu du Citepa (Laëtitia SERVEAU) de la réunion dans les locaux de COOP de France déshydratation avec Yann MARTINET du 24 août 2016
[781] Données communiquées par COOP de France déshydratation (Yann MARTINET) par mail le 20 juillet 2016
[782] Mail reçu de COOP de France déshydratation (Yann MARTINET) du 24/08/2016 sur deux rapports d'essai réalisés sur les particules en termes de granulométrie - ETUDE CONFIDENTIELLE
[783] Méthode GRDF pour déterminer les émissions de méthane du Réseau de distribution de gaz naturel en France
[784] Méthode GRTgaz pour déterminer les émissions de méthane du Réseau de transport de gaz naturel en France, GRTgaz, 17/10/2016
[785] Méthode TIGF pour déterminer les émissions de méthane du Réseau de transport de gaz naturel en France, TIGF, mail 04/14/2016
[786] Evaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. RMT Elevages et Environnement, 2015, Paris, 26 pages.
[787] Guide EMEP/EEA 2013 – Chapitre 1A3a - Aviation
[788] "Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP). Observatoires volcanologiques
http://www.ipgp.fr/fr/ovpf/activite-recente-piton-de-fournaise
http://www.ipgp.fr/sites/default/files/liste_activite_fournaise_1998_2016_0.pdf
http://www.ipgp.fr/fr/ovsg/soufriere-de-guadeloupe
http://www.ipgp.fr/fr/ovsm/montagne-pelee"
[789] Agreste, L'essentiel du recensement agricole 2010 - Mayotte
[790] Schéma directeur de l'aménagement agricole et rural de Mayotte, 2009.
[791] FAO, Evaluation des ressources forestières mondiales 2010 - Mayotte
[792] Base de données OMINEA
[793] Rigolot C., Espagnol S., Pomar C., Dourmad J.Y., 2010a. Modelling of manure production by pigs and NH3, N2O and CH4 emissions. Part I: animal excretion and enteric CH4, effect of feeding and performance. Animal, 4, 1401-1412
[794] SAUVANT D., GIGER-REVERDIN S. – « Modélisation des interactions digestives et de la production de méthane chez les ruminants » – INRA Prod. Anim., 22, 2009, 375-384
[795] SIMPSON D. Inventorying emissions from nature in Europe. Journal of Geophysical Research. 1999
[796] EUGENE M., MANSARD L. – Rapport final du projet MONDFERENT 2 « Emissions de méthane entérique et MOND des petits ruminants en France », 2015, non publié.
[797] EUGENE M., MANSARD L. – Outil de calcul accompagnant le rapport du projet MONDFERENT 2 «Emissions de méthane entérique et MOND des petits ruminants en France», 2015, non publié.
[798] Base de données SINOE - ADEME
[799] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 11
[800] Groot Koerkamp, 1993. Review on emissions of ammonia from housing systems for layins hens in relation to sources, processes, building design and manure handling.
[801] Acquisition de facteurs d'émissions d'ammoniac en élevages de volailles - Rapport final. ITAVI/ADEME. 11 décembre 2015. P. 30/45

[802] Clement and Tashiro (1991). Forest fires as a source of PCDD and PCDF. 11th International Symposium on Chlorinated dioxins and related compounds, 1991
[803] Analyse du potentiel de 10 actions de réduction des émissions d'ammoniac des élevages français aux horizons 2020 et 2030. ADEME. Juillet 2013
[804] Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol
[805] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 5
[806] RTE Guyane - Référentiel Technico-Economique agricole, 2002 et 2012
[807] Fiches d'Itinéraires Technique - Chambre d'Agriculture de Martinique, 2014
[808] Base de données Corine Land Cover, Agence Européenne pour l'Environnement
[809] Options for Ammonia Mitigation - Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen
[900] EMEP 2016, Chapitre 3D - Crop production and agricultural soils.
[901] Composition des effluents porcins - Institut Technique du Porc, 2005
[902] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 2
[903] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 2, Chapitre 3.6
[904] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear
[906] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Update July 2017 - 1.A.3.a Aviation
[907] Données locales d'énergie (gaz) - https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-locales-denergie/#_
[908] Données locales d'énergie (électricité) - https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-locales-denergie/#_
[910] Réseau RASTA (Réseau d'Aides Scientifiques et Techniques des Accélérateurs) - http://rasta.free-hosting.fr/partenaires
[912] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 11.C Other natural sources B111000 Lightning 2023
[913] INSEE - Code officiel géographique au 1er janvier 2017 - https://www.insee.fr/fr/information/2666684#titre-bloc-23
[914] JO (UE) - RÈGLEMENT (UE) 2016/2066 DE LA COMMISSION du 21 novembre 2016 - http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R2066&from=FR
[915] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.3.c Railways
[916] INSEE – Statistiques ProdFRA de 2008 à année N-1 – production d'éthanol (codes 2014740000-Alcool éthylique non dénaturé, >= 80 % en volume, non rectifié et 2014750000-Alcool éthylique et eaux de vie dénaturés, de tous titres)
[917] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2H2 Food and Beverages industry, table 3-7 FE COVNM de la fermentation
[918] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 1999 - Group04 Production process, page B4510-4, table 8.1
[919] EMEP EEA Guidebook version 2013 - 2B Chemical Industry, tables 3-41 et 3-42 (FE poussières)
[920] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2A1 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
[922] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2A3 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
[923] Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014). 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.
[924] COPACEL - Statistiques annuelles sur la production de pâte à papier
[925] Guidebook EMEP 2016- Chapter 2H1 Pulp and paper industry - Tier 2 (table 3.2, 3.3 et 3.4)
[926] BREF "pulp and paper production" - Best available techniques (BAT) - Reference document for the production of pulp, paper and board - 2015
[927] Décision du 26/09/2014 établissant les conclusions sur les MTD pour la production de pâte à papier, de papier et de carton
[928] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2A5c - storage, handling and transport of mineral products
[929] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2A2 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
[930] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2.C.7.a Copper production - Section 3.3.2 Technology-specific emission factors - Table 3-2 and 3-3

[931] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.B.2.c Venting and flaring, table 3-1
[932] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.1 Energy industries, tables 4-5 et 4-6, FE TSP pour le gaz naturel et le FOD
[933] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.1 Energy industries, tables 4-8, FE BC pour les moteurs au FOD
[934] Concawe - report 9/16 Emission factors for metals from combustion of refinery fuel gas and residual fuel oil - Table 1 pour le gaz de raffinerie
[935] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1A4 Non-road mobile sources and machinery, table 3-1 (Tier 1)
[936] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-4 / 3-5 / 3-6 / 3-7 / 3-11 / 3-19, FE TSP et BC
[937] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction - Table 3-13
[938] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1A4 Non-road mobile sources and machinery, Appendix E, Fraction black carbon pour EMNR diesel (moyenne entre <130kW et >130kW selon les normes)
[939] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-3 / 3-4 / 3-5 / 3-6, FE TSP, CO et COVNM
[940] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.4 Small combustion, tables 3-23 / 3-24 / 3-25 / 3-27 / 3-29 / 3-30 / 3-31 pour FE NOx, TSP, CO et COVNM et tables 3-3 / 3-6 / 3-10 pour FE NH3
[941] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, section 2.D.3.i, 2.G Other solvent and product use, table 3-5
[942] INSEE – Données statistiques sur les productions de produits inorganiques (ProdFRA de l'année 2009 à n-1)
[943] FAO – site internet FAOSTAT – Statistiques sur la production d'engrais phosphatés
[944] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction - Table 3-17
[945] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.B Chemical industry, table 3.7
[946] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.B Chemical industry, table 3.30
[947] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Section 2.C.7.b Nickel production - Table 3.1
[948] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Section 2.B.10.a other chemical industry - Table 3.35
[949] République Française – Circulaire du 14 avril 1962 relative à l'évacuation et au traitement des ordures ménagères
[950] 2006 IPCC Guidelines, Volume 3 chapter 4 table 4.7 (pp 4.39)
[951] Best Available Techniques (BAT) Reference (BREF) Document for Iron and Steel Production - 2013
[952] Norme NF EN 1964-2 - Détermination des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans les industries énergo-intensives - Partie 2 : Industrie sidérurgique (17 septembre 2016)
[953] 2006 IPCC Guidelines, Volume 3 chapter 4 - Metal Industry - table 4.3
[954] Hans Oonk, C. Lambert, I. Cakars, M. Havranek - GHG emissions from biological treatment of waste - Overview of existing measurements, Oonk & al., Mars 2017
[955] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.B.1.a Fugitive emissions from solid fuels: Coal mining and handling, table 3.6
[956] Statistiques des services d'incendie et de secours (SDIS)
[957] Statistiques de la Fédération Forge et Fonderie
[958] USGS, Minerals Yearbook - Ferromanganese and silicomanganese : world production by country
[959] 2006 IPCC Guidelines, Volume 3 chapter 4 - Metal Industry - table 4.5 - pp 4.37
[960] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Section 3B Manure Management
[961] Institut de l'élevage, juin 2014. Alimentation des ovins : rations moyennes et niveaux d'autonomie alimentaire.
[962] INRA, Projet C-SOPRA (Prédiction des impacts des pratiques culturales sur le stockage et déstockage de C organique en sols agricoles) (2020).
[963] INRA, Etude 4 pour 1000 (Le potentiel de l'agriculture et de la forêt françaises en vue de l'objectif d'un stockage de carbone dans les sols à hauteur de 4 pour mille) (2019).
[964] Riziculture - La paille de riz Camarguaise - Pratiques au champ et filières de valorisation pour un développement durable. Inra, Cemagref, 2009.

[965] Base de Données d'Analyses des Terres – BDAT, GIS SOL.
[966] Hassouna M., Meda B., Chantal A., Dourmad J-Y., Garcia Launay F. Excretions of organic matter and nitrogen of poultry and pig productions to assess gas emissions, MONDFERENT 2. Novembre 2015, non publié
[967] EMEP / EEA emission inventory guidebook, 2016, 3F Field burning of agricultural residues
[968] US EPA - AP 42 - 5ème édition, Volume 1 - Chapter 1.6 : Wood Residue Combustion In Boilers - table 1.6-3
[969] Institut National du Cancer – L'essentiel de la radiothérapie en France en 2016
[970] EMEP / EEA emissions inventory guidebook 2016, 1.B.2.c Venting and flaring, Table 3-4 Tier 2 emission factors for source category 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in oil refineries, p12
[971] EMEP / EEA emissions inventory guidebook 2016, 2.B.6 Titanium dioxide production, chloride process - Table 3.21 Tier 2 emission factors for source category
[972] Citepa - Emissions de COV issues des stations-service, 2007, p105 et p145
[973] Guide EMEP/EEA 2016, 1.B.2.a.v Distribution of oil products, Table 3-15, p.17-18-20
[974] DSECE – Données d'importation et d'exportation - https://lekiosque.finances.gouv.fr/portail_default.asp
[975] Rapports annuels IEOM - Institut d'Emission des départements d'Outre-Mer (http://www.ieom.fr/ieom/publications/)
[976] ONFi Luc Durrieu de Madron Évaluation de la biomasse à St Pierre et Miquelon en Nouvelle Calédonie, à Wallis et Futuna Paris, 14 mai 2009].
[977] Bélanger et al. 2008. Rapport de mission sur l'état des bois de l'archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon.
[978] Marianne Rubio (ONF), Inventaire national des GES du secteur UTCF pour les territoires d'outre-mer - Polynesie francaise. Mai 2009]
[979] Cartes relatives à l'occupation du sol à Wallis et Futuna, Service territorial des affaires rurales et de la pêche (STARP), 2008, http://orioai.univ-nc.nc/search-gred/notice/view/univ-nc.nc-ori-15466
[980] Résultats des Enquêtes Pratiques d'élevage, 2015. Service de la Statistique et de la Prospective Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.
[981] Institut du Porc, 2010. Porc performances 2009
[982] IDELE, 2004. Une nurserie adaptée aux besoins des animaux.
[983] IDELE, Octobre 2016. Estimation des flux d'azote associés aux ovins, aux caprins, aux équins et à leurs systèmes fourragers.
[984] Institut Français du Cheval et de l'Equitation (IFCE). Bases de données du SIRE et de l'Observatoire Economique et Social du Cheval (http://statscheval.haras-nationaux.fr)
[985] Institut Français du Cheval et de l'Equitation (IFCE), 2012 et 2016. Annuaires ECUS.
[986] EUGENE M., SAUVANT D., NOZIERE P., VIALLARD D., OUESLATI K., LHERM M., MATHIAS E., DOREAU M. A new Tier 3 method to calculate methane emission inventory for ruminants. Journal of Environmental Management 231 (2019) 982-988.
[987] Communication annuelle ITAVI. Données d'effectifs des poulets de chair par mode de production (export, standard, lourd, CCP, bio, label rouge) et des poules pondeuses par mode de production (au sol, bio, en cage, label rouge, plein air).
[988] Sampère, J. 2017. Mise en place d'un protocole d'estimation des changements d'occupation des sols sur le territoire de France métropolitaine. Mémoire de Master 2 Environnement : Dynamiques des territoires et des sociétés, sous la direction de M. Cohen et C. Robert. 94p.
[989] Levasseur 2003, 2006. Etat des lieux du traitement des lisiers de porcs en France
[990] Lessirard 2007. La filiere porcine francaise et le developpement durable
[991] Bilan UGPVB. Données 2013 : 421 stations de traitement de lisier de porc en service. Enquête auprès des groupements de producteurs de porcs
[992] UGPVB 2016, 2017. Rapport d'activité
[993] Canaveira, P., Manso, S., Pellis, G., Perugini, L., De Angelis, P., Neves, R., Papale, D., Paulino, J., Pereira, T., Pina, A., Pita, G., Santos, E., Scarascia-Mugnozza, G., Domingos, T., and Chiti, T. (2018). Biomass Data on Cropland and Grassland in the Mediterranean Region. Final Report for Action A4 of Project MediNet
[994] Roux, A., Dhôte, J. F., Achat, D., Bastick, C., Colin, A., Bailly, A., & Schmitt, B. (2017). Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique. Une étude des freins et leviers forestiers à l'horizon, 2050, 101.

[995] LAGADEC S., LANDRAIN P., BELLEC F., MASSON L., DAPELLO C., GUINGAND N., 2015. Enquête sur 31 laveurs d'air de porcherie en Bretagne, clés d'amélioration de l'efficacité sur l'abattement de l'ammoniac. Journées de la Recherche Porcine en France, 47:177-182.
[996] Pignard, G. et J. L. Dupouey (2000). "Carbon stocks estimates for french forests." Biology Agronomy Society and Environment 4(4): 285-289
[997] PUIG H., J.P. DELOBELLE (1988). Production de litière, nécromasse, apports minéraux au sol par la litière en forêt guyanaise, Revue écologie (Terre Vie). 43: 3-22 p.
[998] "Meersmans, Manuel Martin, Lacarce, De Baets, Jolivet, et al.. A high resolution map of French soil organic carbon. Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2012, 32 (4), pp.841-851."
[999] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Update July 2018 - 1.A.3.b.i-iv Road transport
[1000] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Update April 2018 - 1.A.3.b.v Gasoline evaporation
[1001] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.C.5
[1002] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.C.6
[1003] Concawe - report 4/17 Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries - Values for 'Destruction of a gaseous stream - EF for fuel gas in a furnace'
[1004] Note de l'ADEME - Proposition d'évolution des facteurs d'émission 1 à 20MW. 18/03/2019
[1005] Note technique de faisabilité pour l'évolution de la méthodologie du calcul des émissions de NOx des chaudières résidentielles au fioul et gaz naturel, Citepa, 2019.
[1006] Energi- og Miljødata, Dansk Gasteknisk Center, November 2009
[1007] Etude Granulés de Bois 2020, France Bois Forêt, Syndicat National des Producteurs de Granulés de Bois, FNB, Février 2013
[1008] Etude sur le chauffage domestique au bois : Marchés et Approvisionnements, CNA Climat Air Energie, Octobre 2018
[1009] Propellet Event 2018, la filière granulés de bois prépare la forte croissance de son marché, bioenergie-promotion.fr, Juillet 2018
[1010] EMEP/EEA - 2.A.5.a Quarrying and mining of minerals other than coal 2019
[1011] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry 2019 - Table 3.39 and Table 3.40, p40 et p41
[1012] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry 2019 - Table 3.45, Table 3.46 and Table 3.47, p46 et p47
[1013] "Base de données statistique FAO : http://www.fao.org/faostat/fr/#data/FO
codes produits : 1646, 1649, 1697, 1606, 1648"
[1014] "Base de données PRODCOM (EUROSTAT) - PRCCODE 20511300 - Articles pour feux d'artifice
Production vendue, exportations et importations par liste PRODCOM (NACE Rév. 2) - données annuelles [DS-066341]"
[1015] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook — 2016/2019/2023 Part B 2.D.3i-2G Other solvent and product use, Tobacco combustion
[1016] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook — 2016/2019/2023 Part B 2.D.3i-2G Other solvent and product use, Other, Use of Fireworks
[1017] Differences in cadmium transfer from tobacco to cigarette smoke, compared to arsenic or lead, J.-J. Piadéa, G. Jaccardb,∗, C. Dolkaa, M. Belushkina, S. Wajrockb, 2015, table 4
[1018] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook — 2009 Part B 2.D.3i-2G Other solvent and product use, Tobacco combustion
[1019] Traitement des résultats de campagnes de mesures réalisées en 2018 ou 2019 par les crématoriums dans le but de vérifier leur conformité avec l'arrêté du 28 janvier 2010 et transmis aux Agence Régionales de Santé (ARS)
[1020] Ministère de l'Europe et des affaires étrangères – Représentation permanente de la France auprès de l'Union européenne (https://ue.delegfrance.org/outre-mer-2038)
[1021] Inventec – communication téléphonique du 02/10/2019
[1022] Circulaire du 9 mars 2012 relative à la taxe générale sur les activités polluantes & ses annexes
[1023] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.B Chemical Industry 2016 - Table 3.6
[1024] Agreste (2015), L'utilisation du territoire en 2014 – Teruti-Lucas; Chiffres & Données 229.

[1025] Ballet B. (2018). Rénovation de l'enquête Teruti. 13e Journées de méthodologie statistique de l'Insee (JMS). 12-14 juin 2018.
[1026] Amorich S., Mary A.n, Michel P., Mirouse B. L'enquête Teruti-Lucas. Présentation, 2012.
[1027] Jean-Christophe Hervé. "National Forest Inventories - Assessment of wood availability and use". In : sous la dir. de Claude Vidal et al. Springer, 2016. Chap. France, p. 385–404.
[1028] Jean-Christophe Hervé et al. "L'inventaire des ressources forestières en France: un nouveau regard sur de nouvelles forêts". In : Revue Forestière Française LXVI.3 (2014), p. 247–260. doi : 10.4267/2042/56055
[1029] Règlement (UE) 2016/1628 du Parlement Européen et du Conseil du 14 septembre 2016 relatif aux exigences concernant les limites d'émission pour les gaz polluants et les particules polluantes et la réception par type pour les moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers, modifiant les règlements (UE) n°1024/2012 et (UE) n°167/2013 et modifiant et abrogeant la directive 97/68/CE
[1030] EVOLIS (regroupement de CISMA et PROFLUID) – Données internes de la profession d'équipementiers de BTP, fluidiques et de manutention
[1031] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1A4 Non-road mobile sources and machinery, Table 3-11 deterioration factors for diesel machinery relative to average engine lifetime
[1032] Directive 2005/69/EC of the European Parliament and the Council of 16 November 2005 amending for the 27th time Council Directive 76/769/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (polycyclic aromatic hydrocarbons in extender oils and tyres). https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:323:0051:0054:EN:PDF
[1033] EMEP / EEA Guidebook – édition 2016 – 1A4 Small combustion - FE Tier 2 pour le 1A4c agriculture/forestry (Tables 3-23 à 2-26)
[1034] EMEP / EEA Guidebook – édition 2016 – 1A4 Small combustion - FE Tier 1 pour NH3 pour biomasse (Table 3-10)
[1035] EMEP / EEA Guidebook – édition 2016 – mise à jour du guide 2018 - 3Df- Agriculture Other including use of pesticides FE Tier 1 pour HCB (Table 3)
[1036] Données des ventes de produits phytopharmaceutiques issues de la BNV-D, https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/ventes-de-pesticides-par-departement/#_ données consultées le 19/06/2019
[1037] INSEE. Tableaux économiques régionaux - Plusieurs années
[1038] MAA/SSP. Les comptes régionaux, départementaux et par catégorie d'exploitations de l'agriculture - Plusieurs années
[1039] DAVAR. Recensement général agricole (RGA) Nouvelle Calédonie - 2002 ; 2012
[1040] Institut de la Statistique et des études économiques Nouvelle Calédonie. Productions agricoles en Nouvelle Calédonie - Plusieurs années.
[1041] Institut de la statistique de Polynésie française. Recensement général agricole (RGA) Polynésie française - 1995
[1042] Direction de l'Agriculture (DAG) Polynésie française. Recensement général agricole (RGA) Polynésie française - 2012
[1043] Service territorial de la Statistique et des Etudes Economiques (STSEE) Wallis et Futuna. Recensement général agricole (RGA) Wallis et Futuna - 2001 ; 2014.
[1044] DAAF Mayotte. Le poulet de chair à Mayotte - Analyse de la filière. Mars 2016.
[1045] DAAF Mayotte. Conjoncture et évolution des prix des produits agricoles. Février 2017.
[1046] DAAF Mayotte. Etudes d'Informations Statistiques agricoles menées en 2016. Janvier 2017.
[1047] INSEE - Structures agricoles. 1998
[1048] Agreste - Production commercialisée de sciages et autres produits bois (1990-2018)
[1049] Aktualisierung und methodische Verbesserung der österreichischen Luftschadstoffinventur für Schwebstaub (traduction : "Mise à jour et amélioration méthodologique de l'inventaire de polluants atmosphériques autrichiens pour les particules"), pp43, 2007
[1050] Base de données FAO, Production de Pâte de bois chimique, au bisulfite, blanchie (Code Produit : 5510 et 1655)
[1051] Sauvant D. (INRA). La production de méthane dans la biosphère : le rôle des animaux d'élevage. Le courrier de la Cellule Environnement n°18 (décembre 1992)
[1052] IDELE. Résultats du Contrôle Laitier France (bovins, ovins, caprins). Plusieurs années.
[1053] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3, Chapitre 3, Tableau 3-24, pp3.99

[1054] ESA CCI-LC Climate Change Initiative land cover version 2.0.7
[1055] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 2.B Chemical Industry 2023 - Table 3.6
[1056] EMEP / EEA emission inventory guidebook, 2019, 3F Field burning of agricultural residues
[1057] Club Biogaz, Association Technique Energie Environnement – Présentation sur le devenir des digestats, 2019
[1058] Association AILE, Etat des lieux de la méthanisation en Bretagne et Pays de la Loire au 1er janvier 2020
[1059] JRC - Map to limit area for leaching – Revue ESD 2019
[1060] EMEP 2019, Chapitre 3D - Crop production and agricultural soils
[1061] Enquête annuelle de production dans l'industrie PRODFRA : production de charbon de bois (y compris charbon de coques ou de noix), même aggloméré
[1062] Données fournies par l'UNGDA - Union Nationale des Groupements de Distillateurs d'Alcool
[1063] Guidebook Corinair, part 6 - second edition - 1992, page 6
[1064] EMEP 2019, section 2A1 Cement production – table 3.1
[1065] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook - table 3-24 - cement production - 1A2, Edition 2019
[1066] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 2A3 Glass Production, tables 3.2 à 3.7
[1067] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 2A2 Lime Production, table 3.1
[1068] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Chapter 2A2 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
[1069] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Chapter 2A3 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
[1070] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Chapter 2A5c - storage, handling and transport of mineral products
[1071] EMEP/EEA/2016 - Chapter 5.A Biological treatment of waste - Table 3-1
[1072] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, Chapter 5-D , Table 3-1
[1073] BIPE - Les services publics d'eau et d'assainissement en France - Editions depuis 2006
[1074] PRODCOM - Statistiques sur la production de produits manufacturés - eurostat (codes produit : 20147400 et 20147500)
[1075] GRTgaz – Communication annuelle des émissions nationales de CH4 au Citepa
[1076] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry, table 3.7
[1077] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1a4 Non-road mobile sources and machinery - Table 3.6, EF Tier 3
[1078] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C5 Lead production
[1079] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C3 Aluminium production
[1080] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C6 Zinc production
[1081] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 1A2 Manufacturing industries
[1082] Commissariat général au développement durable - Production et traitement des déchets en France
[1083] INERIS - Emissions de Bibenzodioxines et dibenzofuranes lors de la combustion de cables éléctriques - 1999
[1084] INERIS - Emissions atmosphériques de dioxines et de furanes bromées lors de feux accidentels de déchets contenant des substances bromés
[1085] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C7a Copper production - Section 3.3.2 Technology-specific emission factors - Tables 3-2 and 3-3
[1086] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Part B section 1A2 Combustion in manufacturing industries and construction - Table 3-13
[1087] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Part B section 2C2 Ferroalloys production
[1088] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Part B section 2C7b Nickel production - Table 3.1
[1089] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Part B section 2D3c Asphalt roofing
[1090] GIFAM - Chiffres clés annuels par équipement
[1091] WHIRLPOOL - Communication interne
[1092] Eurocave - Communication interne
[1093] Enquête terrain Citepa - fluide frigorigène équipements domestiques
[1094] Revue spécialisée Entreprendre - "Cave à vin : EuroCave leader mondial... et 100 % made in France" - 29/10/2014
[1095] Lignes directrices du GIEC 2006 – Volume 3 – Chapitre 7 – Tableaux 7.9

[1096] ADEME - Rapports annuels Equipement Electriques et Electroniques
[1097] CCFA - Rapports annuels Analyse statistiques
[1098] PSA - Communication interne
[1099] Renault - Communication interne
[1100] Scania - Communication interne
[1101] Iveco - Communication interne
[1102] CGDD - Chiffres clés du transport - Edition 2019
[1103] RATP - Communication interne
[1104] Base Behr Hella Service - Quantité de remplissage d'huile et réfrigérant VL/VUL/PL
[1105] NRF - Airconditioning Filling Chart - R134a/R1234yf
[1106] RTOC 2014 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee
[1107] RTOC 1998 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee
[1108] RTOC 2010 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee
[1109] RTOC 2006 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee
[1110] ADEME - Rapports annuels Automobile (VHU)
[1111] ADEME - Audit des plate-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts, d'eaux de ruisselement et bilan des aides ADEME au compostage de déchets verts - Mars 2007
[1112] Panorama du gaz renouvelable - Publication annuelle - GRDF, GRTgaz, Syndicat des énergies renouvelables, SPEGNN, Teréga
[1113] Fédération Française de Carrosserie (FFC) - Communication interne
[1114] Petit Forestier - Communication interne
[1115] Container Handbook
[1116] European Partnership for Energy and the Environment - Communication interne
[1117] RTOC 2002 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee
[1118] Lignes directrices du GIEC 1996 - Volume 3 - Chapitre 2.17
[1119] Nielsen - Retour sur 40 ans de distribution française
[1120] INSEE - Les points de vente du commerce de détail 1982 à 1992
[1121] INSEE - Base de données : évolution du commerce 1992 - 2004
[1122] INSEE - Base de données : hyper super 2004 à 2009
[1123] INSEE - Enquête d'établissement dans le commerce 1980
[1124] ACOSS - Les dénombrements annuels selon la NAF 732
[1125] LSA - Communication interne
[1126] Perifem - Communication interne
[1127] Mines ParisTech - La F-GasII et son impact sur les émissions de fluides frigorigènes en France à l'Horizon 2035 - S. Barrault, M. NEMER
[1128] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1a4 Non-road mobile sources and machinery - Table 3-1, EF Tier 1
[1129] Uniclima - extractions annuelles de données internes
[1130] Informations d'experts - Daikin et Denis Clodic
[1131] AFPAC - La Pompe à Chaleur : De nos ambitions 2030 à nos perspectives 2050 - Mars 2018
[1132] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear
[1133] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.d Navigation -shipping
[1134] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.b.i-iv Road transport
[1135] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 2.C.1 Iron and steel production, Table 3.1 Tier 1 emission factors for source category 2.C.1 Iron and steel production
[1136] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, V3, Ch4, Metal industry
[1137] Union des Aéroports Français (UAF), Données des vols non commerciaux (www.aeroport.fr)
[1138] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Section 3B Manure Management
[1139] 1788 - Inventaire régional Polynésie française, Citepa. 2020.
[1140] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.c Railways
[1141] MTE/CGDD/SDeS : rapport annuel du Bilan annuel des transports

[1142] International Civil Aviation Organization (ICAO) Carbon Emissions Calculator Methodology, Version 11, June 2018 (https://www.icao.int/)
[1143] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.a Aviation
[1144] Airport Air Quality Manual. First Edition — 2011. International Civil Aviation Organization (www.icao.int)
[1145] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Section 5B2 Biological treatment of waste – anaerobic digestion at biogas facilities
[1146] Convention MARPOL de l'OMI (Organisation maritime internationale), Annexe 12 : RESOLUTION MEPC.251(66)
[1147] Convention MARPOL de l'OMI (Organisation maritime internationale), Annexe 13 : RESOLUTION MEPC.176(58)
[1148] Directive (UE) no 2003/44 du Parlement européen et du Conseil du 20 novembre 2013 relative aux bateaux de plaisance et aux véhicules nautiques à moteur.
[1149] EU Fleet Register : https://webgate.ec.europa.eu/fleet-europa/index_en
[1150] STECF (Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries): https://stecf.jrc.ec.europa.eu/index.html
[1151] FAO (Food and Agriculture Organization of the united Nations), statistics Division, http://www.fao.org/faostat/fr/#home
[1152] Annuaire du Syndicat National des patinoires, https://www.syndicatdespatinoires.com/annuaire/
[1153] Global inventories and direct emission estimations of greenhouse gases of refrigeration systems, Sabine Saba, Ph. D; Thesis MINES-ParisTech December 2009
[1154] ADEME, Rapport annuel de l'Observatoire des fluides frigorigènes et gaz fluorés
[1155] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 -1.A.3.b.v Gasoline evaporation
[1156] Service statistique du Ministère en charge de l'environnement - SDES. Données et études statistiques: Parc de voitures selon la vignette Crit'air
[1157] AURA-EE (AURA Energie Environnement), Cartographie des unités de méthanisation, 2017.
[1158] ADEME, méthanisation en Bourgogne-Franche-Comté, retours d'expérience et perspectives. Journée régionale d'échanges, 9 avril 2019 - Beaune
[1159] AILE, Cartes et chiffres clés Bretagne et Pays de la Loire : état des lieux de la méthanisation au 1er janvier 2020
[1160] Observatoire Environnement Bretagne (OEB), 2020. Base de données sur les installations de méthanisation en Bretagne (https://bretagne-environnement.fr/installations-methanisation-bretagne-evolution-datavisualisation)
[1161] ADEME Centre Val de Loire, Cartographie des unités de méthanisation en Centre Val de Loire, 2019.
[1162] Chambre d'agriculture Grand Est, Etat des lieux des méthaniseurs, 2019. (http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/3-rex-suivi-methaniseurs-chambre-agriculture.pdf)
[1163] Chambre d'agriculture Hauts de France, Etat des lieux des méthaniseurs, 2020
[1164] Institut d'aménagement et d'urbanisme – Bilan de la méthanisation en Ile-de-France, 2020
[1165] Chambre d'agriculture Normandie, Bilan des unités de méthanisation, 2020. (https://normandie.chambres-agriculture.fr/conseils-et-services/preserver-lenvironnement/energies/produire-de-lenergie/methanisation/plan-methanisation-normandie/)
[1166] ADEME Occitanie, Carte des unités de méthanisation en fonctionnement, 2017.
[1167] Collectif Métha'Synergie, 2020
[1168] Agence Régionale d'Évaluation Environnement & Climat (AREC), Etat du développement de la méthanisation en nouvelle-aquitaine
[1169] EMEP/EEA 2019 – Section 2.H.2 Food and beverages industry
[1170] OFDT - drogues et addictions dans les Outre-mer, juin 2020
[1171] ORS Réunion - Lettre n°30 - les chiffres clés du tabagisme à La Réunion, 29 octobre 2021
[1172] INSEE – Statistiques ProdFRA de 2008 à année N-1 sur la fabrication de savons, détergents et produits d'entretien, de parfums et de produits pour la toilette, d'huiles essentielles
[1173] RIVM, 2006, Cleaning Products Fact Sheet
[1174] RIVM, 2006, Cosmetics Fact Sheet
[1175] EUROPEAN COMMISSION, 2002, Screening study to identify reductions in VOC emissions due to the restrictions in the VOC content of products; http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/paint_solvents/2002_02_bipro_final_report.pdf.
[1176] THELOKE J., 2005, NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung und Möglichkeiten zu ihrer Minderung
[1177] ARCADIS, 2010, NMVOC emissions through domestic solvent use and the use of paints in the Brussels Capital Region

[1178] RIVM, 2018, Cleaning Products Fact Sheet
[1179] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 – secteur 1A1b – SNAP 010301/010302/010306 – FE NOx – tables 4-2 à 4-6
[1180] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 – secteur 1A1b – SNAP 010305 – FE NOx – tables 4-7 et 4-8
[1181] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 – secteur 1A1a – SNAP 010304 assimilée à SNAP 010104 et 010105 – FE NOx – tables 3-17 et 3-18
[1182] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 4-5 et 4-6, FE TSP pour le gaz naturel et le FOD
[1183] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 4-8, FE BC pour les moteurs au FOD
[1184] "EMEP/EEA – Emission Inventory Guidebook 2016 – 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in oil and gas extraction (p 7 - table 3-1)"
[1185] "EMEP/EEA Emissions Inventory Guidebook 2019 - 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in oil refineries (p11 - Table 3-4)"
[1186] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Table 3-28 p63 et Table 3-30 p65
[1187] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.B.1.a Fugitive emissions from solid fuels: Coal mining and handling, table 3-2, 3-3 et 3-6
[1188] EMEP / EEA 2013 – Section 1.B.2.a.v Distribution of oil products, table 3-10 et 3-11
[1189] Guide EMEP/EEA 2019, 1.B.2.a.v Distribution of oil products, Table 3-15
[1190] RECYLUM, Recyclage des lampes - Echanges internes
[1191] RÈGLEMENT D'EXÉCUTION (UE) 2018/2066 DE LA COMMISSION du 19 décembre 2018 relatif à la surveillance et à la déclaration des émissions de gaz à effet de serre au titre de la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil et modifiant le règlement (UE) no 601/2012 de la Commission
[1192] ADEME, 2012, Fiche technique "épandage" : la valeur agronomique des boues d'épuration http ://www.ademe.fr/partenaires/boues/pages/f22.htm [dernière visite : 12/11/2012]
[1193] IPCC, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands
[1194] Stehfest, E., Bouwman, A.F., 2006. N2O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. Nutrient Cycling in Agroecosystems 74, 207–228. https://doi.org/10.1007/s10705-006-9000-7
[1195] VCM enquete operationele stand van zaken mestverwerking in vlaanderen, Vlaamse coordinatiecentrum Mestverwerking, https://www.vcm-mestverwerking.be/nl/kenniscentrum/1919/bibliotheek [dernier accès : 21/01/2022]
[1196] ADEME - Déchets chiffres-clés - Edition 2020
[1197] ADEME - Gestion domestique des déchets domestiques - Juin 2020
[1198] EMEP EEA Guidebook 2023 - Chapitre 5E - Tables 3-2 ; 3-3 ; 3-4 ; 3-5
[1199] INSEE - Les conditions de logement en France - Edition 2017
[1200] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1-a-4-small-combustion - Table 3.6 - Tier 1 emission factors for NFR source category 1.A.4.b, using biomass
[1201] Vancutsem, C., Achard, F., Pekel, J. F., Vieilledent, G., Carboni, S., Simonetti, D., ... & Nasi, R. (2021). Long-term (1990–2019) monitoring of forest cover changes in the humid tropics. Science Advances, 7(10), eabe1603
[1202] Tanneberger F., Moen, A., Joosten, H., & Nilsen, N. (2017). The peatland map of Europe. Mires and Peat. 2017, 19 (22), 1-17
[1203] Copernicus (Commission européenne / AEE), données High Resolution Layers, disponible en ligne : https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers
[1204] Agence de Services et de Paiements (ASP), données du Registre Parcellaire Graphique (RPG), base de données géographiques servant de référence à l'instruction des aides de la politique agricole commune (PAC). Données annuelles depuis 2007 disponibles en ligne : https://geoservices.ign.fr/rpg
[1205] DONNEE Surfaces potentiellement brûlées MODIS Quasi-Temps réel (MCD14DL) https://geoportail.oeil.nc/geoportal/catalog/
[1206] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2H2 Food and Beverages industry, table 3-7 FE COVNM de la fermentation
[1207] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Part B section 2D3b Road paving with asphalt
[1208] GIEC – Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 4, section 4.4.2.1

[1209] Directive 97/68/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 1997 sur le rapprochement des législations des États membres relatives aux mesures contre les émissions de gaz et de particules polluants provenant des moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers
[1210] Méthode de calcul du facteur d'émission CO2 des points d'entrée du gaz naturel, Citepa&GRTgaz
[1211] Valorisation et partage de la connaissance du parc des installations bois-énergie, rapports annuels, CIBE
[1212] Cortea Acibioqa - Amélioration des connaissances en matière d'impact des chaufferies biomasse sur la qualité de l'air, ADEME
[1213] Réévaluation des facteurs d'émission des particules totales (solide et condensable) du chauffage domestique au bois, impacts sur les inventaires d'émission, Ineris & Citepa - 206576 - 2740861 - v2.0
[1214] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1A4 Small combustion - Tables 3.39 à 3.44 - Tier 2 emission factors for NFR source category 1.A.4.b, using biomass
[1215] "Données européennes – productions, importations, exportations https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DS-056120__custom_3664074/default/table?lang=fr "
[1216] GIEC – Guidelines 2019 Volume 5, Chapitre 2,
[1217] GIEC – Guidelines 2019, Volume 5, Chapitre 3, Table 3.1
[1218] ADEME - Impact sanitaire et environnemental du compostage domestique
[1219] ADEME - Programme de recherche de l'ADEME sur les émissions atmosphériques du compostage - connaissances acquises et synthèse bibliographique
[1220] Defra UK Ship Emissions Inventory Final Report, 2010.
[1221] Fourth IMO GHG Study 2020 Full Report
[1222] "Z. Klimont et al., "Global anthropogenic emissions of particulate matter including black carbon," Atmos Chem Phys, vol. 17, no. 14, pp. 8681–8723, Jul. 2017, doi: 10.5194/acp-17-8681-2017."
[1223] SNCF - Données de trafic ferroviaire issue du Data Lab pour l'année 2018
[1224] EMEP EEA Guidebook - 2006 - group 02 - chapitre B216 - Tables 8.2d et 8.2e
[1225] ADEME - Baromètre Environnement
[1226] INRAE - Emissions de N2O dans la filière de traitement et de valorisation des boues - 2018
[1227] Rapport annuel de l'institut d'émission d'outre-mer (IEOM) - Nouvelle-Calédonie
[1228] GIEC - 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands - Table 6.4
[1229] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use
[1230] Levasseur P., Soulier A., Lagrange H., Trochard R., Foray S., Charpiot A., Ponchant P. et Blazy V. « Valorisation agronomique des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins. RMT Elevage et Environnement », 2019.
[1231] Martin-Rosset, W., Vermorel, M., Fleurance, G. et Doligez, P., « Evaluation et prévision de différentes sources de pollution issues de l'élevage et de l'utilisation du cheval. 39ème Journée de la Recherche Equine », 2013.
[1232] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1A2 Manufacturing industries and construction - table 3.3 Tier 1 emission factor for 1A2 combustion in industry using gaseous fuels
[1233] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1.A.1 Energy industries, table 3-5 Tier 1 emission factors for source category 1.A.1.a using heavy fuel oil
[1234] "EMEP/EEA – Emission Inventory Guidebook 2019 – 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in oil and gas extraction (table 3-1)"
[1235] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1A2 Manufacturing industries and construction - table 3.3 Tier 1 emission factor for 1A2 combustion in industry using gaseous fuels
[1236] Bilans de fonctionnement des unités de méthanisation en Auvergne- Rhône-Alpes
[1237] AILE, Etat des lieux de la méthanisation en Bretagne
[1238] Schéma Régional Biomasse Grand Est, Mars 2021, v9 - Ademe, Préfecture Grand Est, Solagro, Indiggo, Biomasse conseil
[1239] AREC, Bilan de fonctionnement 2020 des unités de méthanisation en Ile de France - Rapport complet - février 2022

[1240] Chambre d'agriculture de Normandie, 2021, Qualité agronomique des digestats en Normandie, Guide technique, Décembre 2021.
[1241] DREAL Pays de la Loire, Analyse des bilans de fonctionnement 2019 des installations de la filière biogaz en Pays de la Loire
[1242] U Skiba et al 2021 Environ. Res. Lett. 16 025009 « Assessing the Contribution of Soil NOx Emissions to European Atmospheric Pollution ». https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd2f2.
[1243] Synthèse agences de l'eau - 2015 à 2018
[1244] Arrêté du 2 février 1998 - article 33 - point 17 (Stations d'épuration mixtes) - Legifrance
[1245] IRSTEA - INVENTAIRE DES GES EMIS LORS DU TRAITEMENT ET DE LA VALORISATION DES BOUES D'EPURATION
[1246] Crédoc - Consommation annuelle de protéines en France - 1999 à 2019
[1247] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry, table 3.30
[1248] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1-a-4-small-combustion - Tables 3.42 - Tier 2 emission factors for NFR source category 1.A.4.b, using biomass
[1249] Recensement agricole 2020. Données communiquées par le MASA fin 2022, en attente de publication.
[1250] Références d'excrétions azotées Itavi, mise à jour 2021, en cours de publication.
[1251] CNIEL, 2018.Le pâturage des vaches laitières françaises - Etat des lieux de la pratique pour l'ensemble des territoires français
[1252] Site internet Web-agri pour les durées de lactation en vaches allaitantes. https://www.web-agri.fr/alimentation-animale/article/208210/courbe-de-lactation-d-une-vache-allaitante
[1253] Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, Communiqué de presse du 7 septembre 2022, quantité de tabac consommé en 2020 et 2021 en Nouvelle-Calédonie
[1254] ISPF (institut de la statistique de la Polynésie française), Importations de tabac
[1255] Performances techniques et indicateurs économiques en poules pondeuses. Itavi, multiples années.
[1256] Performances techniques et coûts de production en volailles de chair. Itavi, multiples années.
[1257] Performances techniques et résultats économiques des volailles de chair biologiques et sous label rouge. Itavi, multiples années.
[1258] Résultats technico-économiques en palmipèdes gras. Itavi, multiples années.
[1259] Devun et al (2011). Fourrages conservés et modes de récolte : la situation selon les systèmes d'élevage en France
[1260] DAVAR, 2012, Recensement général agricole, Nouvelle Calédonie, https://davar.gouv.nc/
[1261] Ministère du Développement des activités du secteur primaire, 2012, Recensement général de l'agriculture en polynésie française
[1262] Plan de développement agricole durable à Saint-Pierre et Miquelon , 2018. CACIMA, Chambres d'agricultures, Salva Terra
[1263] DRAAF Saint Martin, 2021, Le Plan Territorial de l'Agriculture Durable de Saint-Martin. Mars 2021
[1264] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1A1 Energy industries - Table 4.2 - Tier 1 emission factors for source category 1.A.1.b, refinery gas
[1265] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, section 1A1 Energy industries - Table 3.15 - Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.a dry bottom boiler using wood and wood waste pour FE ML
[1266] Institut national du cancer - Chiffres clés de l'observatoire national de la radiothérapie entre 2017 et 2021
[1267] ORS Réunion - Tableau de bord - Les comportements addictifs à la Réunion - 2022
[1268] France Agrimer - La consommation de produits laitiers
[1269] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 1A1 Energy industries - Table 3-17 - Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.a, gas turbines using gaseous fuels
[1270] "Maaf, Ecofor, 2018. Indicateurs de gestion durable des forêts françaises ultramarines de la Martinique / Guyane / Guadeloupe, édition 2015"
[1271] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1a4 Non-road mobile sources and machinery, Annexe E - Table E.1 Diesel <130 kW 1991- Stage 1
[1272] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 – 1A4 Small combustion - FE BC pour le 1A4b residential (Tables 3.3 et 3.4)
[1273] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.4 Small combustion, tables 3-7 / 3-8 / 3-9 / 3-23 / 3-45 pour FE BC

[1274] DASSOT Mathieu, COMMAGNAC Loïc, LETOUZE Frédéric, COLIN Antoine. 2022. Stocks de bois et de carbone dans les haies bocagères françaises. 66 pages.
[1275] M. Jonard, I. Caignet, Q. Ponette, M. Nicolas. Evolution du carbone des sols forestiers de France métropolitaine – Détection et quantification à partir des données mesurées sur le réseau RENECOFOR. Rapport final. Juillet 2013
[1277] Mouillot et al, 2006 - Global Carbon Emissions from biomass burning in 20th century. Geophysical Research Letters 33(1).
[1276] "Rapport annuel - Mémo statistiques , Sucres et autres débouchés - Association Cultures Secure - Depuis 2009 https://www.cultures-sucre.com/Medias/content-editor/pdf/memo-stat-2023-FR-planche-BD.pdf"
[1273] HEFA Production and Feedstock Selection 2019, CBSCI
[1274] CARBURE : La plateforme de gestion des flux de biocarburants, https://carbure.beta.gouv.fr/
[1275] INSEE - Statistiques annuelles de l'habitat individuelle et collectif
[1276] EMEP/EEA 2023 1A1 Energy Industries - Tables 3-7 / 3-11 / 3-13 / 3-15 / 3-20 / 3-21 - Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.a
[1277] Données et études statistiques du Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires - Base de diffusion des données Dido - Listes des permis de construire et autres autorisations d'urbanisme (https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/catalogue?page=dataset&datasetId=6513f0189d7d312c80ec5b5b)
[1278) Cylinder lubrication of two-stroke crosshead marine diesel engines (wartsila.com)
[1279] Kaminski, W. Marine Slow-Speed Engines' Cylinder Oil Lubrication Feed Rate Optimization in Real Operational Conditions. Energies 2022, 15, 8378. https:// doi.org/10.3390/en15228378
[1280] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.d Navigation -shipping
[1281] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.b.i-iv Road transport
[1282] IPCC Guidelines Volume 3, Chapter 5, TABLE 5.2 : Default oxidation fractions for lubricating oils, grease and lubricants in general
[1283] INSEE - Taux de conformité des dispositifs d'assainissement non collectif
[1284] IPCC GL 2006 - Refinement 2019 - Volume 5 - Chapitre 6 - Tableau 6.8A
[1285] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.c Railways 2023
[1286] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear 2023
[1287] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 2.C.1
[1288] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.2 Manufacturing industries and construction (combustion) - Table 3-3
[1289] Service statistique du Ministère en charge de l'environnement - SDES. Données et études statistiques : Données relatives aux immatriculations des véhicules neufs et d'occasion.
[1291] ONISR (Observatoire national interministériel de la sécurité routière). La sécurité routière en France : Bilan de l'accidentalité annuel.
[1292] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 5.C1.a Municipal waste incineration - Table 3-2 - Tier 2 emission factors for source category 5.C.1.a Municipal waste incineration
[1293] DAVAR - Mémento agricole Nouvelle-Calédonie (annuel). https://davar.gouv.nc/secteur-rural-statistiques-agricoles/le-memento-agricole
[1294] Données douanes - Import / Export engrais organiques (https://www.douane.gouv.fr/la-douane/opendata?f%5B0%5D=categorie_opendata_facet%3A458)
[1295] Esnouf A., Brockmann D., Cresson R., 2021. Analyse du cycle de vie du biométhane issu de ressources agricoles - Rapport d'ACV. INRAE Transfert, 170pp.
[1296] AGRESTE, Recensement agricole 2000
[1297] AGRESTE, Recensement agricole 2010
[1298] Levasseur P., Soulier A., Lagrange H., Trochard R., Foray S., Charpiot A., Ponchant P. et Blazy V. Valorisation agronomique des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins. RMT Elevage et Environnement, Paris, 83 pages.
[1299] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.3.a Aviation
[1300] Mail de Groupe européen de l'industrie des solvants (ESIG) avec des facteurs d'émission de COVNM par habitant liés à l'utilisation de solvants en France.

[1301] EMEP/EEA 2023 – Section 2.H.2 Food and beverages industry - https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023/part-b-sectoral-guidance-chapters/2-industrial-processes-and-product-use/2-h-other-industry-production/2-h-2-food-and/view
[1302] AGRESTE, Enquête annuelle de production commercialisée (EAPC) 2022 - https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/methodon/S-EAPC-2022/methodon/




© Citepa 2025

**www.citepa.org**
infos@citepa.org
42, rue de Paradis
75010 PARIS