Rapport **CCNUCC** éd. 2026

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

1990-2024

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT

Liberté
Égalité
Fraternité

Citepa

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT

Liberté
Égalité
Fraternité

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

Avril 2026

Rédaction	
Rôle	*Noms*
Rédacteurs principaux	Fanny JOUBERT, Gabriel KRENZER
Contributeurs (Citepa)	Jean-Marc ANDRE, Stéphanie BARRAULT, Quentin BEDRUNE, Grégoire BONGRAND, Tamara BRAISH, Eponine BRIER, Maxime CELESTE, Jean-Pierre CHANG, Benjamin CUNIASSE, Etienne DELORT, Ariane DRUART, Anaïs DURAND, Lisa GRELLIER, Yasmine HATIM, Pierre HAVEZ, Mélanie JUILLARD, Rania KAMAR, Etienne MATHIAS, Vincent MAZIN, Adrien MERCIER, Vincent MONTI, Sophie MOUKHTAR, Mathis PASTORELLI, Natalia SIRINA-LEBOINE, Adélaïde Tresarrieu, Sarah URBANO, Corentin VANCAYSEELE, Thamara VIEIRA DA ROCHA, Shouwen ZHANG

Vérification		
Rôle	*Nom, Fonction*	*Date*
Vérification	Citepa : Différents chefs de départements et d'unités DGEC (MTECT) : Nolwenn BROSSIER, Alban GRANIER, Alec BICKERSTETH, Samuel LAVAL	13/03/2026
Approbation finale	Citepa : Etienne MATHIAS	10/04/2026

Pour citer ce document :

Citepa, 2026. Rapport CCNUCC

© Citepa 2026

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 2026.

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

Rapport n°2731 CRT/ 2026 | CCNUCC_France_2026.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 13
Table des tableaux 20
Préambule 32
Résumé 34
Summary 34
1. SYSTEME NATIONAL ET INFORMATIONS TRANSVERSALES 40
1.1 Généralités sur les inventaires de gaz à effet de serre et les changements climatiques 41
1.2 Système national d'inventaire 46
1.2.1 Dispositions institutionnelles, législatives et procédurales 46
1.2.2 Planification, préparation et management 49
1.2.3 Dispositions opérationnelles, collecte des données, traitement et archivage 50
1.2.4 Processus d'approbation officielle des inventaires 57
1.3 Généralités sur les méthodes et les sources de données utilisées 57
1.3.1 Principes méthodologiques 58
1.3.2 Méthodes de calculs et facteurs d'émission utilisés 62
1.3.3 Cohérence entre l'inventaire CCNUCC et les déclarations au titre du SEQE 63
1.4 Catégories clés 66
1.4.1 Analyse Tier 1 66
1.4.2 Analyse Tier 2 68
1.4.3 Vue d'ensemble des sources clés 69
1.5 Plan et mise en œuvre du contrôle et assurance qualité 72
1.6 Évaluation des incertitudes 82
1.7 Exhaustivité des inventaires 85
1.8 Métriques utilisées (MPG paragraphe 37) 95
1.9 Mécanismes de flexibilité utilisés (MPG paragraphes 4-6) 95
2. EVOLUTION DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE 96
2.1 Évolution globale des émissions de gaz à effet de serre 97
2.1.1 Évolution en France – périmètre France UE 97
2.1.2 Particularités des émissions de la France hexagonale et des territoires Outre-mer inclus dans l'UE 102
2.1.3 Évolutions des émissions au titre de la Convention 103
2.1.4 Évolution des émissions par gaz à effet de serre direct 105
2.1.5 Évolution des émissions des gaz à effet de serre indirect 112
2.1.6 Évolution des émissions des GES en Outre-mer hors UE (PTOM) 113
2.2 Évolution des émissions par sources émettrices 115
3. ENERGIE (CRT 1) 131
3.1 Présentation générale du secteur 132
3.2 Consommation de combustibles (CRT 1A) 139
3.2.1 Comparaison de l'approche sectorielle avec l'approche de référence 139
3.2.2 Soutes internationales 146

3.2.3 Usages non énergétiques des combustibles 152
3.2.4 Caractéristiques communes pour la combustion (1A) 154
3.2.5 Industrie de l'énergie (1A1) 164
3.2.6 Industrie manufacturière (1A2) 185
3.2.7 Transports (1A3) 230
3.2.8 Autres secteurs (1A4) 294
3.2.9 Non spécifiés (1A5) 308
3.3 Émissions fugitives des combustibles (CRT 1B) 311
3.3.1 Combustibles solides (1B1) 311
3.3.2 Combustibles liquides et gaz naturel (1B2) 315
3.4 Transport et stockage de CO_2 (CRT 1C) 334
3.4.1 Injection et stockage (CRT 1C2) 334
4. PROCEDES INDUSTRIELS (CRT 2) 335
4.1 Présentation générale du secteur 336
4.2 Produits minéraux (CRT 2A) 337
4.2.1 Caractéristiques de la catégorie 337
4.2.2 Méthode d'estimation des émissions 345
4.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 356
4.2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 356
4.2.5 Recalculs 357
4.2.6 Suivi des recommandations des revues 358
4.2.7 Améliorations envisagées 360
4.3 Chimie (CRT 2B) 361
4.3.1 Caractéristiques de la catégorie 361
4.3.2 Méthode d'estimation des émissions 368
4.3.3 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 381
4.3.4 Recalculs 382
4.3.5 Suivi des recommandations des revues 385
4.3.6 Améliorations envisagées 386
4.4 Métallurgie (CRT 2C) 387
4.4.1 Caractéristiques de la catégorie 387
4.4.2 Méthode d'estimation des émissions 395
4.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 403
4.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 404
4.4.5 Recalculs 406
4.4.6 Améliorations envisagées 407
4.5 Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants (CRT 2D) 408
4.5.1 Caractéristiques de la catégorie 408
4.5.2 Méthode d'estimation des émissions 409
4.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 415
4.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 415
4.5.5 Recalculs 415
4.5.6 Suivi des recommandations des revues 418
4.6 Industrie électronique (CRT 2E) 420
4.6.1 Caractéristiques de la catégorie 420
4.6.2 Méthode d'estimation des émissions 420
4.6.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 421

4.6.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 421
4.6.5 Recalculs 421
4.6.6 Améliorations envisagées 422
4.7 Consommations d'halocarbures et SF6 (CRT 2F) 423
4.7.1 Caractéristiques de la catégorie 423
4.7.2 Méthode d'estimation des émissions 432
4.7.3 Cas des territoires d'outre-mer 491
4.7.4 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 497
4.7.5 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 497
4.7.6 Recalculs 499
4.7.7 Améliorations envisagées 500
4.8 Autres usages et fabrication de produits (CRT 2G) 502
4.8.1 Caractéristiques de la catégorie 502
4.8.2 Méthode d'estimation des émissions 505
4.8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 509
4.8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 510
4.8.5 Recalculs 510
4.8.6 Suivi des recommandations des revues 511
4.8.7 Améliorations envisagées 514
4.9 Autres procédés (CRT 2H) 515
4.9.1 Caractéristiques de la catégorie 515
4.9.2 Méthode d'estimation des émissions 515
4.9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 516
4.9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 516
4.9.5 Recalculs 516
4.9.6 Améliorations envisagées 517
5. AGRICULTURE (CRT 3) 518
5.1 Présentation générale du secteur 519
5.2 Fermentation entérique (3A) 574
5.2.1 Caractéristiques de la catégorie 574
5.2.2 Méthode d'estimation des émissions 575
5.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 582
5.2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 583
5.2.5 Recalculs 588
5.2.6 Suivi des recommandations des revues 588
5.2.7 Améliorations envisagées 589
5.3 Gestion des déjections (3B) 590
5.3.1 Caractéristiques de la catégorie 590
5.3.2 Méthode d'estimation des émissions 593
5.3.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 614
5.3.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 615
5.3.5 Recalculs 618
5.3.6 Suivi des recommandations des revues 619
5.3.7 Améliorations envisagées 622
5.4 Culture du riz (3C) 623
5.4.1 Caractéristiques de la catégorie 623
5.4.2 Méthode d'estimation des émissions 623

5.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 625
5.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 626
5.4.5 Recalculs 626
5.4.6 Améliorations envisagées 627
5.5 Sols agricoles (3D) 628
5.5.1 Caractéristiques de la catégorie 628
5.5.2 Méthode d'estimation des émissions 633
5.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 647
5.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 648
5.5.5 Recalculs 648
5.5.6 Améliorations envisagées 649
5.6 Brûlage de résidus agricoles (3F) 649
5.6.1 Caractéristiques de la catégorie 649
5.6.2 Méthode d'estimation des émissions 650
5.6.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 651
5.6.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 651
5.6.5 Recalculs 651
5.6.6 Améliorations envisagées 652
5.7 Chaulage des terres (3G) 653
5.7.1 Caractéristiques de la catégorie 653
5.7.2 Méthode d'estimation des émissions 653
5.7.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 655
5.7.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 655
5.7.5 Recalculs 655
5.7.6 Améliorations envisagées 655
5.8 Épandage d'urée minérale (3H) 656
5.8.1 Caractéristiques de la catégorie 656
5.8.2 Méthode d'estimation des émissions 656
5.8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 657
5.8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 657
5.8.5 Recalculs 657
5.8.6 Améliorations envisagées 657
5.9 Épandage d'engrais contenant du carbone (3I) 658
5.9.1 Caractéristiques de la catégorie 658
5.9.2 Méthode d'estimation des émissions 658
5.9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 659
5.9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 659
5.9.5 Recalculs 659
5.9.6 Améliorations envisagées 660
6. UTCATF (CRT 4) 660
6.1 Présentation générale du secteur 661
6.2 Définitions des types de terres 668
6.2.1 Forêts 668
6.2.2 Cultures 669
6.2.3 Prairies 670
6.2.4 Zones humides 671
6.2.5 Zones artificialisées ou Etablissements 672

6.2.6 Autres terres ... 673
6.2.7 Produits bois ou « produit ligneux récoltés (PLR) » ... 674
6.2.8 Autres ... 674
6.3 Description des méthodes et données utilisées ... 675
6.3.1 Méthodes génériques ... 675
6.3.2 Suivi des recommandations des revues ... 689
6.3.3 Améliorations envisagées ... 696
6.3.4 Incertitudes ... 697
6.3.5 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ... 699
6.4 Forêts (CRT 4A) ... 700
6.4.1 Caractéristiques de la catégorie ... 700
6.4.2 Méthode d'estimation des émissions ... 702
6.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ... 736
6.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ... 737
6.4.5 Recalculs ... 741
6.4.6 Suivi des recommandations des revues ... 742
6.4.7 Améliorations envisagées ... 747
6.5 Cultures (CRT 4B) ... 750
6.5.1 Caractéristiques de la catégorie ... 750
6.5.2 Méthode d'estimation des émissions ... 753
6.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ... 757
6.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ... 757
6.5.5 Recalculs ... 758
6.5.6 Suivi des recommandations des revues ... 759
6.5.7 Améliorations envisagées ... 761
6.6 Prairies (CRT 4C) ... 763
6.6.1 Caractéristiques de la catégorie ... 763
6.6.2 Méthode d'estimation des émissions ... 765
6.6.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ... 768
6.6.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ... 769
6.6.5 Recalculs ... 769
6.6.6 Suivi des recommandations des revues ... 770
6.6.7 Améliorations envisagées ... 771
6.7 Zones humides (CRT 4D) ... 772
6.7.1 Caractéristiques de la catégorie ... 772
6.7.2 Méthode d'estimation des émissions ... 774
6.7.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ... 778
6.7.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ... 778
6.7.5 Recalculs ... 778
6.7.6 Suivi des recommandations des revues ... 778
6.7.7 Améliorations envisagées ... 779
6.8 Zones artificialisées ou Etablissements (CRT 4E) ... 780
6.8.1 Caractéristiques de la catégorie ... 780
6.8.2 Méthode d'estimation des émissions ... 782
6.8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries ... 784
6.8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) ... 785
6.8.5 Recalculs ... 785
6.8.6 Suivi des recommandations des revues ... 785

6.8.7 Améliorations envisagées 786
6.9 Autres terres (CRT 4F) 788
6.9.1 Caractéristiques de la catégorie 788
6.9.2 Méthode d'estimation des émissions 790
6.9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 792
6.9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 792
6.9.5 Recalculs 792
6.9.6 Améliorations envisagées 793
6.10 Produits bois (CRT 4G) 794
6.10.1 Caractéristiques de la catégorie 794
6.10.2 Méthode d'estimation des émissions 794
6.10.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 800
6.10.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 801
6.10.5 Recalculs 801
6.10.6 Améliorations envisagées 801
6.11 Autres (CRT 4H) 802
6.11.1 Caractéristiques de la catégorie 802
6.11.2 Méthode d'estimation des émissions 802
6.11.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 803
6.11.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 803
6.11.5 Recalculs 803
6.11.6 Améliorations envisagées 804
7. DECHETS (CRT 5) 805
7.1 Présentation générale du secteur 806
7.2 Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) (5A) 813
7.2.1 Caractéristiques de la catégorie 813
7.2.2 Méthode d'estimation des émissions 816
7.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 828
7.2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 828
7.2.5 Recalculs 828
7.2.6 Améliorations envisagées 829
7.3 Traitement biologique (5B) 830
7.3.1 Caractéristiques de la catégorie 830
7.3.2 Méthode d'estimation des émissions 831
7.3.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 836
7.3.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 836
7.3.5 Recalculs 837
7.3.6 Suivi des recommandations des revues 838
7.3.7 Améliorations envisagées 838
7.4 Incinération des déchets (5C) 839
7.4.1 Caractéristiques de la catégorie 840
7.4.2 Méthode d'estimation des émissions 845
7.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 852
7.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 852
7.4.5 Recalculs 853
7.4.6 Améliorations envisagées 854
7.5 Traitement des eaux (5D) 855

7.5.1 Caractéristiques de la catégorie 855
7.5.2 Méthode d'estimation des émissions 858
7.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 869
7.5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 870
7.5.5 Recalculs 870
7.5.6 Suivi des recommandations des revues 871
7.5.7 Améliorations envisagées 873
8. AUTRES 874
8.1 Caractéristiques de la catégorie 874
8.2 Méthode d'estimation des émissions 874
8.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 875
8.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 875
8.5 Recalculs 875
8.6 Améliorations envisagées 875
9. EMISSIONS INDIRECTES DE CO_2 ET N_2O 876
9.1 Caractéristiques de la catégorie 876
9.2 Méthode d'estimation des émissions 876
9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries 876
9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) 876
9.5 Recalculs 876
9.6 Améliorations envisagées 876
10. RECALCULS ET AMELIORATIONS 877
10.1 Explications et justifications concernant les nouveaux calculs 880
10.2 Incidences sur les niveaux d'émissions 881
10.3 Incidences sur l'évolution d'émissions 883
10.4 Améliorations transversales envisagées 884
Annexe 2 Incertitudes 907
Annexe 3 Approche de référence Tier 1 du GIEC 913
Annexe 4 Plan du contrôle et assurance qualité (MPG paragraphes 34-35) 914
Annexe 5 Descriptions méthodologiques détaillées 915
A1 Systèmes de gestion des déjections animales (SGDA) 916
A2 Fermentation entérique des vaches laitières et estimation du SV 939
A3 Fermentation entérique des autres bovins et estimation du SV 946
A4 Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction 950
Lavage d'air dans les bâtiments porcins 950
Traitement des lisiers porcins par nitrification-dénitrification 952
Couverture de fosse à lisier 953
Modes d'épandage moins émissifs – Matériel d'épandage et délai d'enfouissement 955
A5 Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage 960
Modélisation des pratiques d'épandage 960

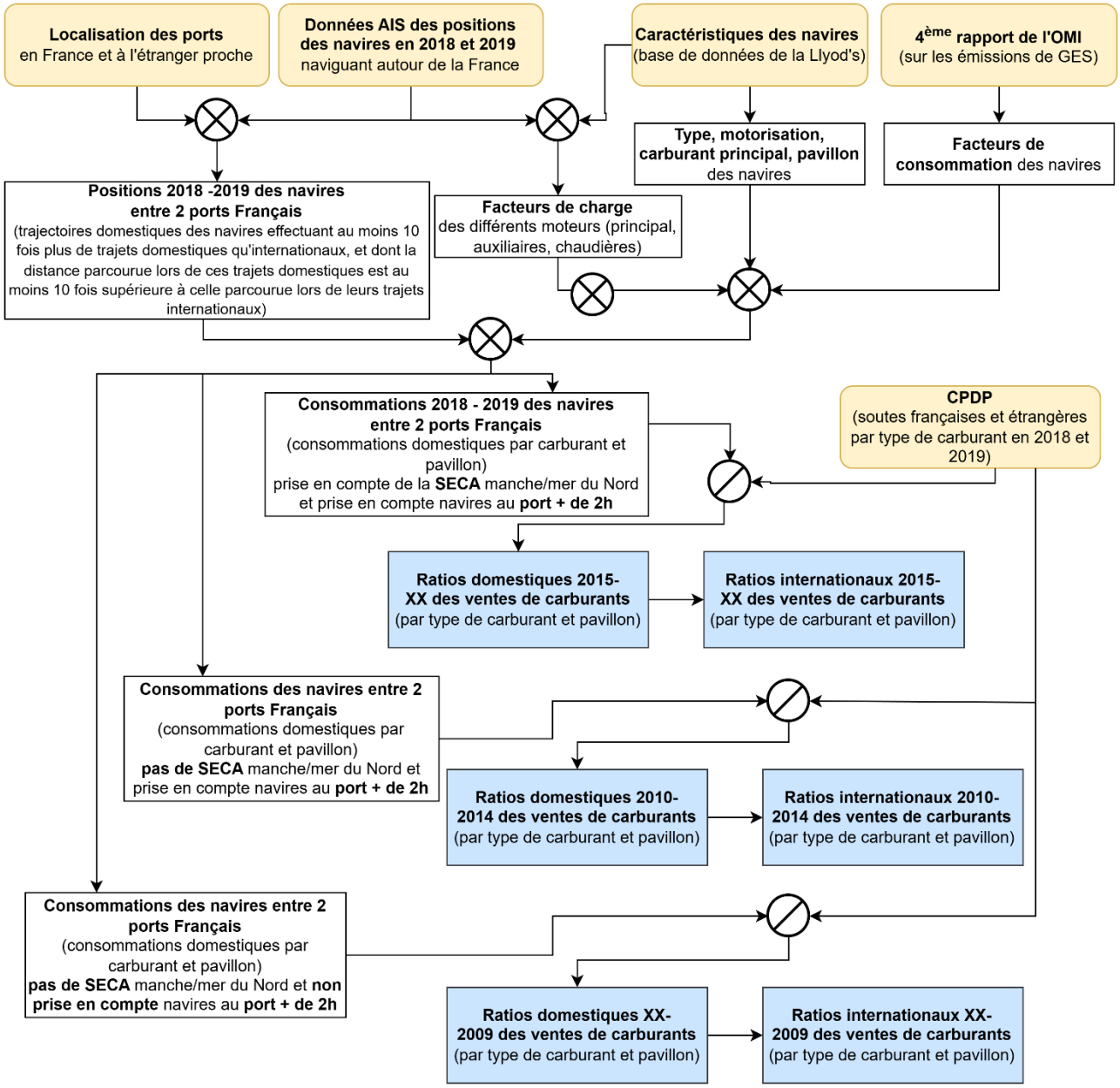
Modèle de parc 965
Répartition des épandages par région, forme d'effluent et délai d'enfouissement 970
A6 Estimation des quantités de matière sèche des résidus de culture 979
Annexe 7 Impact par grands secteurs des modifications intervenues depuis la soumission de mars 2025 995
Annexe 8 Informations supplémentaires sur les registres et systèmes nationaux d'inventaire 1001
Annexe 9 Prise en compte des revues 1024
Annexe 10 Informations complémentaires relatives à l'UTCATF 1062
Annexe 11 Fichiers informatiques relatifs au texte 1067
Références 1069

Table des figures

Figure 1 : Schéma organisationnel simplifié 50
Figure 2 : Schéma opérationnel simplifié du système d'inventaire 52
Figure 3 : Choix des méthodologies 54
Figure 4 : Typologie des sources au regard de l'utilisation de l'énergie 60
Figure 5 : Dispositions mises en œuvre pour l'assurance qualité 75
Figure 6 : Schéma du contrôle et de l'assurance qualité de l'inventaire français 77
Figure 7 : Carte de la France (France hexagonale et Outre-mer) 86
Figure 8 : Variations des émissions totales hors UTCATF au cours de la période 1990-2024 en France (Périmètre France UE) 98
Figure 9 : Contribution des différents gaz à effet de serre aux émissions totales hors UTCATF en 1990 et 2024 pour la France (périmètre France UE) 98
Figure 10 : Évolution des émissions hors UTCATF par habitant entre 1990 et 2024 (périmètre France UE) 102
Tableau 16 et Figure 11 : coefficient de rigueur (France hexagonale) 106
Figure 12 : Variations des émissions de gaz à effet de serre direct hors UTCATF au cours de la période 1990-2024 en France (périmètre France UE) 110
Figure 13 : Consommation d'énergie primaire en France hexagonale (non corrigée du climat, en cumulé) 134
Figure 14 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer (non corrigée du climat, en cumulé) .. 135
Figure 15 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer au périmètre France UE (non corrigée du climat, en cumulé) 137
Figure 16 : logigramme de détermination des ratios de ventes de soutes maritimes à destination des trafics domestiques et internationaux 149
Figure 17: Consommations de combustibles de la catégorie 1A1a (périmètre France UE) 164
Figure 18: Mix de combustibles des centrales thermiques de production d'électricité (périmètre France UE) 166
Figure 19 : Évolution du des combustibles utilisés par les installations de chauffage urbain (périmètre France UE) . 168
Figure 20 : Parc français des installations d'incinération des ordures ménagères 169
Figure 21 : Brut traité dans les raffineries en France hexagonale et Martinique (Périmètre France UE) 171
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).Figure 22 : Combustibles consommés pour le raffinage du pétrole (périmètre France UE) 172
Figure 23 : Production de coke en France (périmètre France UE) 173
Figure 24 : Quantité de déchets (kt) non dangereux incinérés avec et sans récupération d'énergie (Hexagone et outre-mer inclus dans l'UE) 176
Figure 25 : Composition des déchets incinérés en UIDND (yc déchets industriels, hors boues) en Métropole 177
Figure 26 : Évolution de la consommation de combustibles par sous-catégorie de l'industrie manufacturière (périmètre UE) (non corrigée du climat, en cumulé) 186
Figure 27 : Evolution de la consommation d'énergie par combustible dans l'industrie manufacturière en France – (périmètre UE) (non corrigée du climat, en cumulé) 187
Figure 28 : Détail des combustibles « solides » (1er graphique) et « liquides » (second graphique) consommés dans l'industrie manufacturière en France – Périmètre UE 188
Figure 29 : Production de produits en fonte (périmètre UE) 190
Figure 30 : Représentation schématique des processus de production d'acier, selon les filières haut-fourneau et four électrique 191
Figure 31 : Production d'aluminium de seconde fusion (périmètre UE) 195
Figure 32 : Périmètres des sources relatives aux bilans énergétiques 204
Figure 33 : Périmètres relatifs aux combustibles dans les bilans énergétiques 204

Figure 34 : Logigramme du processus d'estimation des consommations d'énergie en France métropolitaine 205
Figure 35 : Répartition des flux de combustibles et matières des installations sidérurgiques et des émissions de CO_2 associées 210
Figure 36 : Consommation des différents modes de transports sur la période 1990 – 2024 et répartition (hors international) en 2024 (y compris agro-carburants) (Périmètre France UE) 230
Figure 37 : Emissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile domestique (périmètre France UE) 234
Figure 38 : Emissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile internationale (périmètre France UE) 234
Figure 39 : Consommations de carburants de l'aviation civile touchant la France hexagonale et l'Outre-mer 235
Figure 40 : Trafic domestique en millions de passagers.km 235
Figure 41 : Trafic international en milliers de passagers 236
Figure 42 : Emissions de gaz à effet de serre du transport routier en France métropolitaine et en Outre-mer (périmètre France UE) 237
Figure 43 : Prix des carburants à la pompe (France hexagonale) 238
Figure 44 : Vitesses moyennes par réseaux tous véhicules (France Hexagonale) 239
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) 240
Figure 46 : Taux de diésélisation du parc des véhicules particuliers en France 240
Figure 47 : Taux d'incorporation d'agro-carburants en France métropolitaine 241
Figure 48 : Consommations d'énergies (y compris agro-carburants) du transport ferroviaire en France métropolitaine 244
Figure 49 : Emissions de gaz à effet de serre du transport ferroviaire en France métropolitaine 245
Figure 50 : Trafics ferroviaires de passagers (en Milliard de passagers x kilomètres) et de marchandises (en Milliard de tonnes x kilomètres) 245

Figure 51 : logigramme de détermination des ratios de ventes de soutes maritimes à destination des trafics domestiques et internationaux



..... 249
Figure 52 : ratios moyens de puissance entre les moteurs 2 temps et 4 temps par type de carburant 252
Figure 53 : Emissions de gaz à effet de serre du transport maritime domestique (périmètre France UE) 254
Figure 54 : Emissions de gaz à effet de serre du transport maritime international (hors total) 254
Figure 55 : Consommations d'énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime domestique et international 255
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.) 255
Figure 57 : Consommations des différentes énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime international (1.D.) 256
Figure 58 : Répartition des tonnesxkilomètres du transport fluvial de marchandises entre la partie domestique et internationale 256
Figure 59 : Consommations de gaz naturel dans les stations de compressions en France métropolitaine et en Outre-mer 257
Figure 60 : Emissions de gaz à effet de serre émises par les stations de compression (périmètre France UE) 258
Figure 61 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du secteur aérien 259

Figure 62 : Evolutions des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre du transport aérien domestique (périmètre France UE) 260
Figure 63 : Evolutions des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre du transport aérien international (hors total) 260
Figure 64 : Logigramme du processus de calcul du parc de véhicules français avec le modèle OPALE. 263
Figure 65 : Logigramme du processus d'estimation des données de base pour le calcul des émissions pour la méthodologie de rang 3 de l'EMEP/EEA. 266
Figure 66 : Parc statique (Nombre) des véhicules routiers en France hexagonale 268
Figure 67 : logigramme de processus d'estimation des émissions par le modèle COPERT 271
Figure 68 : Kilométrage moyen des véhicules routiers en France hexagonale 271
Figure 69 : Parc roulant (Md véhiculesxkilomètre) des véhicules routiers en France hexagonale 272
Figure 70 : : Parc statique (Nombre) des véhicules routiers en Outre-mer (y compris PTOM) 273
Figure 71 : Parc roulant (Md véhiculesxkilomètre) des véhicules routiers en Outre-mer (y compris PTOM) 273
Figure 72 : Kilométrage moyen des véhicules routiers en Outre-mer (y compris PTOM) 274
Figure 73 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) du transport routier 276
Figure 74 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du ferroviaire. 277
Figure 75 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) du transport ferroviaire 277
Figure 76 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du trafic maritime. 278
Figure 77 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du fluvial et de la plaisance. 280
Figure 78 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) du transport maritime domestique 281
Figure 79 : Evolution des facteurs d'émission de GES du transport maritime international 281
Figure 80 : Logigramme du processus d'estimation des émissions des stations de compression. 282
Figure 81 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) des stations de compression 283
Figure 82 : Comparaison entre les consommations théoriques du modèle et les ventes totales françaises de carburants 284
Figure 83 : Comparaison entre les consommations de carburants du routier sur le territoire et les ventes/livraisons à usage routier (en France hexagonale) 285
Figure 84 : Distributions des émissions de CO_2, CH_4 et N_2O du transport routier 288
Figure 85 : Schéma de la méthodologie de calcul des incertitudes des émissions GES du transport routier 289
Figure 86 : Comparaison de la consommation des carburants du trafic domestique entre les hypothèses des éditions de mars 2024, mars 2025 et mars 2026. 292
Figure 87 : Consommation de combustibles dans les différents sous-secteurs (Périmètre France UE) 294
Figure 88 : Répartition des combustibles dans les sous-secteurs en 2024 (Périmètre France UE) 295
Figure 89 : Logigramme du processus d'estimation des émissions de la pêche 299
Figure 90 : Extraction de pétrole (périmètre France UE) 315
Figure 91 : Extraction de gaz naturel (périmètre France UE) 317
Figure 92 : Longueur de réseau du gaz naturel en France (périmètre France UE) 318
Figure 93 : Méthode GRDF pour déterminer les émissions de méthane du réseau de distribution de gaz naturel en France [783] 326
Figure 94 : Productions des principaux produits minéraux en France (périmètre UE) depuis 1990 337
Figure 95 : Principales productions de l'industrie chimique 361
Figure 96 : Représentation schématique des processus de production d'acier, selon les filières haut-fourneau et four électrique 388
Figure 97 : Production de fonte brute en France (périmètre UE) 389
Figure 98 : Production d'acier en France – périmètre UE 391
Figure 99 : Production de ferroalliages en France (périmètre UE) 392
Figure 100 : Production d'aluminium par électrolyse en France (périmètre UE) 393
Figure 101 : Production d'aluminium de seconde fusion (France hexagonale) 393
Figure 102 : Répartition des flux de combustibles et matières des installations sidérurgiques et des émissions de CO_2 associées 396

Figure 103 : Récapitulatif des données d'émissions pour les GES 401
Figure 104 : Répartition sectorielle des émissions CO_2 équivalentes de gaz fluorés en 2024 (France hexagonale) 423
Figure 105 : Répartition sectorielle des émissions CO_2 équivalentes de gaz fluorés en 2024 hors secteur climatisation/réfrigération (France hexagonale) 424
Figure 106 : Evolution des émissions de gaz fluorés de 1990 à 2024 (France hexagonale, en Gg CO2e) 424
Figure 107 : Distribution des émissions de HFC en CO_2e du CRT 2F1 en 2024 (périmètre France UE) 426
Figure 108 : Contribution des secteurs aux émissions de HFC en CO_2e de la catégorie CRT 2F1 en 2024 (périmètre France UE) 427
Figure 109 : Évolution du besoin en HFC pour les équipements neufs (périmètre France UE) 428
Figure 110 : Évolution de la banque, soit des quantités de gaz contenues dans les équipements en fonctionnement (périmètre France UE) 428
Figure 111 : Equation du calcul des émissions de HFC à la charge (source : IPCC 2006) 434
Figure 112 : Schéma de la méthodologie d'estimation des émissions à la charge (2F1) 435
Figure 113 – Courbe de fin de vie cars et bus (Durée de vie moyenne de 15 ans) 447
Figure 114 : Evolution du taux de climatisation automobile en France hexagonale (en %) 448
Figure 115 : Charge moyenne de réfrigérant par véhicule (VP & VUL) 449
Figure 116 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes de climatisation des véhicules particuliers et utilitaires légers mis sur le marché. 451
Figure 117 : Facteur d'émission au cours de la durée de vie des véhicules (en %) 453
Figure 118 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les véhicules frigorifiques utilitaires. 459
Figure 119 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les camions frigorifiques semi-remorques 459
Figure 120 – Répartition des surfaces d'entrepôts frigorifiques en France – Insee 2012 463
Figure 121 – Ratio de charge équivalent – Exemple de l'industrie laitière et de l'industrie de la viande 464
Figure 122 – Répartition des fluides frigorigènes utilisés en agroalimentaire – exemple de l'industrie du lait 465
Figure 123 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes splits 475
Figure 124 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les chillers de type volumétrique de moyenne puissance 477
Figure 125 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les pompes à chaleur air/eau 478
Figure 126 : Facteur d'émission à la charge (en %) 479
Figure 127 : Facteur d'émission pendant la durée de vie – climatisation fixe (en %) 480
Figure 128 : Facteur d'émission pendant la durée de vie – chillers (en %) 480
Figure 129 : Facteur d'émission pendant la durée de vie – pompe à chaleur (en %) 481
Figure 130 : Efficacité de récupération (en %) 482
Figure 131 – Ratios de charge surfaciques en super et hypermarchés 485
Figure 132 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés en hypermarchés 487
Figure 133 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés en supermarchés 488
Figure 134 : Facteur d'émission à l'usage en froid commercial (en %) 489
Figure 135 : Facteurs d'émission fin de vie en froid commercial (en %) 490
Figure 136 **– Comparaison de l'évolution des réfrigérants entre la France hexagonale et les territoires d'Outre-mer (exemple du secteur des supermarchés en Nouvelle-Calédonie)** 491
Figure 137 – Estimation des taux d'émissions dans les territoires d'Outre-mer à partir des hypothèses de la France hexagonale. Exemple des facteurs d'émissions fugitifs pour le secteur de la climatisation automobile. 492
Figure 138 – Impact des corrections de l'évolution des fluides frigorigènes utilisés en froid commercial sur les émissions CO2 équivalentes de ce secteur par rapport à la précédente édition d'inventaire 500
Figure 139: Postes d'émission et polluants associés en agriculture 520
Figure 140: Evolution des émissions de CH_4 (kt) du secteur agricole - Périmètre UE 521
Figure 141 : Evolution des émissions de N_2O (kt) du secteur agricole - Périmètre UE 521
Figure 142 : Récapitulatif des méthodes d'ajustement de la statistique agricole annuelle (SAA) 523
Figure 143 : Evolution des cheptels bovins au périmètre UE 529
Figure 144 : Evolution des cheptels porcins au périmètre UE 530

Figure 145 : Evolution des cheptels ovins et caprins au périmètre UE 531
Figure 146 : Evolution des cheptels équins au périmètre UE 532
Figure 147 : Evolution des cheptels poules et poulets au périmètre UE 532
Figure 148 : Evolution des cheptels autres volailles et lapines au périmètre UE 533
Figure 149 : Répartition entre types d'effluents pour les bovins (périmètre UE) 535
Figure 150 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE) 536
Figure 151 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE) 537
Figure 152 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE) 538
Figure 153 : Evolution du nombre de sites de méthanisation agricole en France 539
Figure 154. Estimation des quantités d'intrants alimentant les méthaniseurs agricoles en France. Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME… 540
Figure 155. 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… 541
Figure 156 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE) 544
Figure 157 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE) 545
Figure 158 : Part de la méthanisation au sein des modes de gestion selon la catégorie animale 546
Figure 159 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture 547
Figure 160. Carte des climats Giec 2019 centrée sur la France hexagonale 565
Figure 161. Part de la surface avec un pH supérieur à 7 568
Figure 162 : Evolution des apports moyens en azote minéral sur blé tendre au niveau de la France hexagonale (incluant les parcelles non fertilisées) 572
Figure 163 : Évolution des superficies cultivées des principales cultures en France hexagonale – Source : Agreste - SAA 572
Figure 164 : Évolution des superficies fourragères en France hexagonale – Source : Agreste – SAA 573
Figure 165 : Evolution et répartition des émissions de CH_4 (kt) de la fermentation entérique par catégorie animale (Périmètre UE) 574
Figure 166 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de CH_4 de la fermentation entérique par tête par an par catégorie animale 575
Figure 167 : Schéma récapitulatif de l'évaluation du CH_4 entérique par la méthode MONDFERENT II 578
Figure 168 : Evolution et répartition des émissions de CH_4 (kt) de la gestion des déjections par catégorie animale (Périmètre UE) 590
Figure 169 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de CH_4 de la gestion des déjections par tête par an par catégorie animale 591
Figure 170 : Evolution et répartition des émissions de N_2O (kt) de la gestion des déjections par catégorie animale (Périmètre UE) 592
Figure 171 : 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 593
Figure 172 : Suivi de l'azote en gestion liquide 603
Figure 173 : Suivi de l'azote en gestion solide 603
Figure 174 : Suivi de l'azote en gestion liquide avec méthanisation 604
Figure 175: Suivi de l'azote en gestion solide avec méthanisation 604
Figure 176 : Évolution et répartition des émissions de N_2O (kt) des sols agricoles (Périmètre UE) 628
Figure 177 : Moyenne lissée sur deux campagnes des quantités d'azote livrées issues des engrais minéraux épandus en France hexagonale (1 000 tN) 629
Figure 178 : Quantités d'azote issues des engrais minéraux épandues en Outre-mer (tN) 631
Figure 179 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF pour l'hexagone et l'Outre-mer (UE) 664
Figure 180 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF par catégorie CRT 665
Figure 181 : Représentation des 3 strates d'échantillonnage pour le suivi des terres en Guyane français 677
Figure 182 : Incertitudes sur la biomasse forestière : exemples sur les années 2012-2015 698
Figure 183 : Parties prenantes impliquées dans le processus d'élaboration de l'inventaire UTCATF 699

Figure 184 : Surfaces et Emissions / Absorptions en forêt 700
Figure 185 : Schéma récapitulatif des flux et stocks de carbone pour la forêt 704
Figure 186 : Carte des interrégions IGN 706
Figure 187 : Evolution des trois composantes principales du puits forestiers : accroissement, mortalité et prélèvements en forêt totale (France hexagonale) (Source : voir détail parties précédentes) 711
Figure 188: Comparaison des méthodes par variation de stock et bilan des flux pour la biomasse forestière. 712
Figure 189: Emplacement des placettes Guyafor [1416]. 713
Figure 190: Représentation schématique de la méthode (dite « modèle ») d'estimation des émissions liées aux récoltes de bois). 721
Figure 191 : Conversion de volumes de bois commercialisés en carbone. 722
Figure 192 : Représentation de l'ajustement sur la base des données de prélèvement direct issues de l'IFN (en tC aérien et racinaire). 723
Figure 193 : Explications recalage Récoltes Citepa sur les prélèvements IGN. 724
Figure 194 : Représentation de l'évolution des stocks de carbone suite à une tempête. 726
Figure 195 : Méthodologie utilisée pour la reconstitution des surfaces incendiées en forêt depuis 1990. 728
Figure 196 : Synthèse des compartiments carbone estimés dans le calcul feux de forêt 730
Figure 197 : Surfaces et Emissions / Absorptions en cultures. 750
Figure 198 : Surfaces et Emissions / Absorptions en prairies 763
Figure 199 : Surfaces et Emissions / Absorptions en zones humides 772
Figure 200 : Surfaces et Emissions / Absorptions en zones urbanisées 780
Figure 201 : Surfaces et Emissions / Absorptions en autres terres 788
Figure 202 : Vision d'ensemble des flux utilisés dans la méthode 800
Figure 203 : Emissions de CH_4 et de CO_2 dues au barrage de Petit-Saut en Guyane 802
Figure 204 : Contribution relative des secteurs d'activité en France (2022) à la production de déchets 807
Figure 205 : Parc français (en nombre) des installations d'incinération des ordures ménagères (gauche) et de stockage de déchets non dangereux (droite) 809
Figure 206 : Bilan des tonnages entrant dans les ITOM en 2022 (source : ITOM 2024, ADEME) 809
Figure 207 : Evolution des quantités de déchets ménagers et assimilés traitées par filière de traitement en kt – périmètre UE 811
Figure 208 : Evolution de la quantité de déchets municipaux par filière de traitement centralisées (Périmètre France UE) 811
Figure 209 : Parc français (en nombre) des installations de stockage de déchets non dangereux selon l'enquête ITOM en 2022 813
Figure 210 : Evolution des quantités de déchets non dangereux stockés en ISDND en kt en France (périmètre UE). 814
Figure 211 : Evolution des quantités de déchets non dangereux stockés en ISDND en kt dans les territoires ultramarins inclus dans l'UE 818
Figure 212 : OMR. Composition en pourcentage massique (après ventilation des éléments fins) : comparaison entre 1993 et 2017 820
Figure 213 : Quantités de déchets compostés (Mg) et émissions de CH_4 associées (Mg) 833
Figure 214 : Quantités de déchets compostés (Mg) et émissions de N_2O associées (Mg) 836
Figure 215 : Evolution des quantités cumulées de déchets incinérés et brûlés selon leur type (en kt) – (Périmètre UE) 840
Figure 216 : Quantité de déchets (kt) non dangereux incinérés avec et sans récupération d'énergie (Hexagone et outre-mer inclus dans l'UE) 841
Figure 217 : Parc français (en nombre) des installations d'incinération de déchets non dangereux selon l'enquête ITOM en 2022 842
Figure 218 : Evolution de la pratique de l'incinération en France (Hexagone) 844
Figure 219 : Répartition des feux de véhicules par catégorie en 2023 845
Figure 220 : Répartition de la population par type de traitement/rejet des eaux usées domestiques dans l'Hexagone en 2024 856

Figure 221 : Pollution traitée par système dans l'Hexagone 857
Figure 222 : Emissions de CH_4 et de N_2O associées au traitement et au relargage des eaux usées domestiques 858
Figure 223 : Potentiel d'émission de CH4 et de N2O pour les systèmes de traitement et de rejet des eaux usées domestiques 859
Figure 224 : Répartition des méthodes de traitement des eaux usées domestique dans les départements d'outre-mer 862
Figure 225 : Potentiel d'émission de CH_4 et de N_2O pour les systèmes de traitement et de rejet des eaux usées industrielles 864
Figure 226 : Réactions de transformation de l'azote par nitrification et dénitrification 866
Figure 227 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les bovins 928
Figure 228 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les porcins 928
Figure 229 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les ovins 929
Figure 230 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les caprins 929
Figure 231 : Illustration fictive du retraitement des données effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage 930
Figure 232 : 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. 941
Figure 233 : Composition de la ration moyenne vache laitière France sur l'année 942
Figure 234 : tMS/UGB/an par grand système (CIV, 2012) 947
Figure 235 : Schéma comparatif de la méthode de la méthode MONDFERENT I (vert) avec la méthode Giec 2019 (rouge) 949
Figure 236 : 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 951
Figure 237. Epandages de TAN selon le matériel d'épandage et le type d'effluents pour les pendillards 959
Figure 238. Répartition des élevages selon le type d'équipement des salles de traite – source : [980] 964
Figure 239. Fonction de voyage pour une tonne à lisier d'une capacité inférieure à 12000 litres 966
Figure 240. Fonction de survie ajustée aux données Cuma 967
Figure 241. Estimation de la répartition des volumes d'effluents liquides épandus par type de matériel pour l'année 2021 968
Figure 242. Volume d'effluents liquides épandus en 2021, selon la propriété du matériel – source : Citepa d'après FNCUMA, ETA et étude du gisement 969
Figure 243. Etapes de calcul pour estimer les modes d'épandages des effluents organiques liquides dans l'inventaire Citepa à partir de l'année 2021 971

Table des tableaux

Tableau 1 : Résumé des émissions de gaz à effet de serre en France (périmètre France UE)[(f)] 37
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 46
Tableau 3 : Principaux formats de rapportage produits par le SNIEBA 52
Tableau 4 : Présentation des différents référentiels utilisés 54
Tableau 5 : Données collectées et leurs sources 55
Tableau 6 : Résumé des méthodologies de calculs et des facteurs d'émission employés par secteur 62
Tableau 7 : Résumé des sources clés en 1990 avec et hors UTCATF 69
Tableau 8 : Résumé des sources clés en 2024 avec et hors UTCATF 70
Tableau 9 : Relation entre les bonnes pratiques du GIEC et les éléments du SMQ 78
Tableau 10 : Couverture géographique de la France au regard des divers inventaires d'émissions 85
Tableau 11 : Paramètres socio-économiques de la France 86

Tableau 12 : Liste des sources couvertes par la notation « NE » en 2024 88
Tableau 13 : Liste des sources couvertes par la notation « IE » en 2024 89
Tableau 14 : Émissions de gaz à effet de serre en France (Périmètre France UE)[(d)] 100
Tableau 15 : Émissions des gaz à effet de serre en France (France entière) 104
Tableau 16 et Figure 11 : coefficient de rigueur (France hexagonale) 106
Tableau 17 : Émissions détaillées des HFC et PFC en France (Périmètre France UE) 111
Tableau 18 : Émissions des gaz à effet de serre des PTOM (Outre-mer hors UE) 113
Tableau 19 : Contribution des catégories GIEC aux émissions de gaz à effet de serre hors UTCATF en France en 2024 (Périmètre France UE) 115
Tableau 20 : Émissions de CO_2 en France par catégorie CRT (Périmètre France UE) 117
Tableau 21 : Émissions de CH_4 en France par catégorie CRT 118
Tableau 22 : Émissions de N_2O en France par catégorie CRT 119
Tableau 23 : Émissions de HFC en France par catégorie CRT 120
Tableau 24 : Émissions de PFC en France par catégorie CRT 120
Tableau 25 : Émissions de SF_6 en France par catégorie CRT 121
Tableau 26 : Émissions de NF_3 en France par catégorie CRT 121
Tableau 27 : Émissions de SO_2 en France par catégorie CRT 122
Tableau 28 : Émissions de NO_x en France par catégorie CRT 123
Tableau 29 : Émissions de COVNM en France par catégorie CRT 124
Tableau 30 : Émissions de CO en France par catégorie CRT 125
Tableau 31 : Contribution du trafic intra et hors Union européenne aux émissions de CO_2 du trafic international aérien relatif à la France 130
Tableau 32 : Correspondance des secteurs bilan de l'énergie français / CRT 133
Tableau 33 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer (non corrigée du climat) 136
Tableau 34 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer au périmètre France UE (non corrigée du climat) 137
Tableau 35 : Émissions de gaz à effet de serre du secteur de l'énergie 138
Tableau 36 : Comparaison des émissions de CO_2 de l'approche de référence et de l'approche sectorielle – périmètre France UE 139
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 142
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 143
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 144
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 145
Tableau 41 : Comparaison des consommations et émissions des autres combustibles fossiles entre les approches de référence et sectorielle 146
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. 149
Tableau 43 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années à partir de 2015 150
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. 150
Tableau 45 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années de 2010 à 2014 150
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. 151

Tableau 47 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années avant 2010 151
Tableau 48 : Equivalence des unités d'énergie courantes 154
Tableau 49 : Nomenclature des combustibles et PCI associés 155
Tableau 50 : facteurs d'émission CO_2 utilisés dans les inventaires d'émission nationaux 158
Tableau 51 : Evolution du taux moyen national de biométhane (NAPFUE 31B) dans le gaz de réseau, en %, depuis 1990 159
Tableau 52 : Ratios moyens des teneurs en H, C et O, mesurés pour l'essence et le gazole, selon la saison 160
Tableau 53 : Facteurs d'émission de CO_2 des produits pétroliers (essence sans-plomb et gazole) 161
Tableau 54 : Facteurs d'émission de CO_2 de l'essence plombée 161
Tableau 55 : PCI et contenus Carbone des différents produits composant les agro-carburants 162
Tableau 57 : Evolution temporelle de la répartition des agro-carburants mis à la consommation entre 2005 et 2024, pour l'essence 162
Tableau 58 : Evolution temporelle de la répartition des agro-carburants mis à la consommation entre 2005 et 2024, pour le gazole 162
Tableau 59 : Evolution temporelle de la répartition des agro-carburants mis à la consommation entre 2005 et 2024, pour le kérosène 163
Tableau 60 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1a est source clé en 2024 (hors UTCATF) 164
Tableau 61 : Production brute et consommation d'électricité sur le périmètre France UE depuis 2011 165
Tableau 62 : Production du chauffage urbain en France hexagonale 167
Tableau 63 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1b est source clé en 2024 (hors UTCATF) 169
Tableau 64 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1c est source clé en 2024 (hors UTCATF) 172
Tableau 65 : Facteurs d'émission de N_2O associés à l'incinération de déchets ménagers (g N_2O/Mg de déchets) 178
Tableau 66 : Substances pour lesquelles le secteur 1A2 est source clé en 2024 (hors UTCATF) 185
Tableau 67 : Consommation d'énergie finale dans les sous-secteurs de l'industrie manufacturière par type de combustible en 1990 et 2024 – périmètre UE 186
Tableau 68 : Sous-secteurs du système d'inventaire 205
Tableau 69 : Facteurs d'émission du CH_4 par gamme et par norme d'engin 208
Tableau 70 : Substances pour lesquelles le secteur 1.A.3 est source clé en 2024 (hors UTCATF*, périmètre France UE) 230
Tableau 71 : Prise en compte des émissions en fonction des liaisons et des phases de vol 232
Tableau 72 : Consommations des différents combustibles et de l'huile en France hexagonale. 242
Tableau 73 : Consommations des différents combustibles et de l'huile en Outre-mer. 243
Tableau 74 : Répartition des consommations par type d'Outre-mer (appartenant ou non à l'UE) 243
Tableau 75 : Consommations 2018 et 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord est une SECA. 249
Tableau 76 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années à partir de 2015 250
Tableau 77 : Consommations 2018 et 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. 250
Tableau 78 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années de 2010 à 2014 251
Tableau 79 : Consommations 2018 et 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. 251
Tableau 80 : Part des ventes attribuable au trafics domestique et international, pour les années avant 2010 251
Tableau 81 : Facteurs d'émission de CO2 selon les combustibles (en g/kg) 275
Tableau 82 : Substances et combustibles pour lesquelles le secteur 1A4 est source clé en 2024 (hors UTCATF) 296
Tableau 83 : Facteurs d'émission CH_4 des appareils domestiques au bois 302
Tableau 84 : Facteurs d'émission du CH_4 par gamme et par norme d'engin diesel 303
Tableau 85 : Substances pour lesquelles le secteur 1A5 est source clé en 2024 (hors UTCATF) 308
Tableau 86 : Répartition des consommations par phase de l'aviation 308
Tableau 87 : Substances pour lesquelles le secteur 1B est source clé en 2024 (hors UTCATF) 311

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). En revanche, pour les émissions fugitives (FUG), les facteurs d'émissions de CH_4 proposés présentent une variabilité trop importante. En conséquence, le ratio CO_2/CH_4 est 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 88 : 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) 321
Tableau 89 : Facteurs d'émission de COVNM, CO_2 et CH_4 pour les émissions fugitives pour le transport et le stockage de pétrole brut 321
Tableau 90 : Evolution de la composition massique moyenne du gaz naturel, entre 1990 et 2023 326
Tableau 91 : Facteurs d'émission de GES pour l'extraction de pétrole (en kt/1000 m^3 et kg/PJ) 329
Tableau 92 : Émissions de gaz à effet de serre des Procédés industriels (périmètre UE) 336
Tableau 93 : Substances pour lesquelles le secteur 2A est source clé en 2024 (hors UTCATF) 338
Tableau 94 : production de clinker aluminate (uniquement en France métropolitaine) en kt 345
Tableau 95 : Production des autres types de clinker (uniquement en France métropolitaine) (kt) 346
Tableau 96 : Méthodes mises en œuvre pour le calcul des émissions de CO_2 du secteur de la production de ciment 347
Tableau 97 : Part des différentes sources d'émission dans le facteur d'émission induit du CO_2 pour la décarbonatation dans le secteur du ciment 347
Tableau 98 : Méthodes de calcul des émissions de CO_2 pour la chaux hydraulique 349
Tableau 99 : Part de la production de chaux hydraulique dans la production nationale (%) 349
Tableau 100 : Niveau de méthodologie déployé dans l'estimation des émissions de CO_2 pour la production de chaux aérienne et magnésienne 350
Tableau 101 : Part de la production de chaux vive dans la production nationale (%) 351
Tableau 102 : Nombre d'installations produisant de la chaux (hydraulique et autre) et nature des données utilisées 351
Tableau 103 : Part de la production de chaux produite en sucreries dans la production nationale (%) 353
Tableau 104 : Substances pour lesquelles le secteur 2B est source clé en 2023 (hors UTCATF) 361
Tableau 105 : Substances pour lesquelles les secteurs du 2C sont sources clé en 2024 (hors UTCATF) 387
Tableau 106 : Comparaison des facteurs d'émission CO_2 de l'inventaire avec les lignes directrices du GIEC 2006 404
Tableau 107 : Facteurs d'émission CO_2 - GIEC 2006 – Tier 1 405
Tableau 108 : Facteur d'émission CO_2 nationaux pour la production de ferroalliages en France hexagonale 405
Tableau 109 : Evolution des facteurs d'émission de GES pour le CRT 2C3 en comparaison à celui des lignes directrices du GIEC 2006 405
Tableau 110 : Substances pour lesquelles le secteur 2D est source clé en 2024 (hors UTCATF) 408
Tableau 111 : Evolution des consommations de lubrifiants 2-temps et 4-temps, en France hexagonale et dans les Outre-mer inclus dans l'UE, entre 1990 et 2024 410
Tableau 112 : Substances pour lesquelles le secteur 2F1 est source clé en 2024 (hors UTCATF) 425
Tableau 113 : Composition et PRG (4ème et 5ème AR) des principaux mélanges de HFCs 427
Tableau 114 : Utilisation des types de HFC selon le secteur d'application 430
Tableau 115 : Lieu de charge des équipements 436
Tableau 116 : Liste des données d'activité et paramètres associés selon les types d'émission (CRT 2F1) 441
Tableau 117 : Nombre d'équipements des applications domestiques, pour l'année 2024 442
Tableau 118 : Ratios de charge (en kg/l) et volumes moyens (en l) des réfrigérateurs et congélateurs, en 2024 443
Tableau 119 : Facteurs d'émission (en % de fluide chargé) à la charge, pour les applications domestiques, en 2024 444
Tableau 120 : Hypothèses liées à la maintenance de la climatisation embarquée, par type de véhicule 446
Tableau 121 : Marchés et productions d'équipements de climatisation automobile 447
Tableau 122 : Niveaux moyens de charge nominale, par type de véhicule, en 2024 (en kg) 449
Tableau 123 : Facteurs d'émission à la charge pour la climatisation embarquée, par type de véhicule, en 2024 (en %) 452
Tableau 124 : Facteurs d'émission fugitifs pour la climatisation embarquée, par type de véhicule, en 2024 (en %) . 452

Tableau 125 : Paramètres retenus pour l'équation de calcul des facteurs d'émission pendant le fonctionnement des véhicules (source : GIEC 2006) ... 452
Tableau 126 : Facteurs d'émission de fin de vie pour la climatisation embarquée, par type de véhicule, en 2024 ... 453
Tableau 127 : Hypothèses liées à la maintenance dans le transport frigorifique, par type d'équipement ... 456
Tableau 128 : Nombre d'équipements du transport frigorifique, pour l'année 2024 ... 456
Tableau 129 : Evolution des niveaux moyens de charge nominale du transport frigorifique routier (en kg) ... 458
Tableau 130 : Evolution des niveaux moyens de charge nominale du transport frigorifique maritime ... 458
Tableau 131 : Facteurs d'émission à la charge pour le transport frigorifique, en 2024 ... 460
Tableau 132 : Facteurs d'émission fugitive pour le transport frigorifique, par type d'équipement, en 2024 ... 460
Tableau 133 : Facteurs d'émission de fin de vie pour le transport frigorifique, par type d'équipement, en 2024 ... 461
Tableau 134 : Ratios caractéristiques pris en compte pour le calcul du froid industriel, selon le produit ou l'équipement ... 463
Tableau 135 : Facteurs d'émission à la charge pour le froid industriel, en 2024 ... 465
Tableau 136 : Facteurs d'émission fugitive pour le froid industriel, par type d'application, en 2024 ... 465
Tableau 137 : Facteurs d'émission de fin de vie pour le froid industriel, par type d'application, en 2024 ... 466
Tableau 138 : Récapitulatif des modes de charge des équipements de la climatisation stationnaire ... 468
Tableau 139 : Récapitulatif des modes de maintenance des équipements de la climatisation stationnaire ... 469
Tableau 140 : Durées de vie moyennes des équipements de la climatisation stationnaire ... 469
Tableau 141 : Récapitulatif des modes de charge des équipements de la climatisation à air ... 471
Tableau 142 : Niveaux de charge moyenne des équipements de climatisation stationnaire, en 2024 (en kg) ... 473
Tableau 143 : Gammes de puissance des équipements de la climatisation stationnaire (en kW) ... 473
Tableau 144 – principaux fluides frigorigènes utilisés sur le marché neufs des équipements en 2024 ... 475
Tableau 145 : Hypothèses liées à la maintenance des équipements du secteur du froid commercial ... 484
Tableau 146 : Niveaux de charge de référence des équipements du secteur du froid commercial (en kg) ... 485
Tableau 147 : Sources des facteurs d'émission par sous-application des mousses ... 494
Tableau 148 : Sources et données d'activités par sous-application des mousses ... 494
Tableau 149 : Bilan des méthodes de détermination des consommations de produits utilisés dans les centrales thermiques ... 505
Tableau 150 : Émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture ... 520
Tableau 151 : Substances pour lesquelles le secteur CRT 3 est source clé en 2024 (hors UTCATF) ... 522
Tableau 152 : Correspondances entre anciennes et nouvelles régions ... 522
Tableau 153 : Correspondances entre les catégories SAA et les catégories de l'inventaire pour les porcins ... 525
Tableau 154 : Evolution du cheptel porcin détaillée par catégories fines (France hexagonale uniquement) ... 525
Tableau 155 : Catégories et sous-catégories de l'inventaire ... 526
Tableau 156 : Cheptels bovins, porcins, ovins et caprins au périmètre UE sur la période d'inventaire ... 527
Tableau 157 : Cheptels équins, volailles et lapines au périmètre UE sur la période d'inventaire ... 527
Tableau 158 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins (périmètre UE) ... 535
Tableau 159 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE) ... 536
Tableau 160 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE) ... 537
Tableau 161 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE) ... 537
Tableau 162 : Sources de données régionales mobilisées pour l'estimation des quantités d'intrants méthanisés ... 539
Tableau 163. Teneur en azote retenue pour les effluents d'élevage de l'inventaire ... 542
Tableau 164 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE) ... 543
Tableau 165 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE) ... 545
Tableau 166 : Principales teneurs en azote des intrants méthanisés ... 546
Tableau 167 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture ... 548
Tableau 168 : Récapitulatif des sources de pondération et retraitements effectués pour estimer l'azote excrété des volailles ... 551
Tableau 169 : Récapitulatif des sources utilisées pour le calcul des facteurs d'excrétion azotée ... 556

Tableau 170 : Evolution des Fex en France hexagonale par catégorie animale détaillée (kg N/tête/an) 558
Tableau 171 : Evolution des Fex au périmètre UE par catégorie animale agrégée (kg N/tête/an) 558
Tableau 172 : Paramètres utilisés pour l'estimation des SV des équins 562
Tableau 173 : Paramètres utilisés pour l'estimation des SV des volailles 562
Tableau 174 : Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV 564
Tableau 175. Répartition des surfaces agricoles en hectares selon la zone climatique en France hexagonale en 2023 565
Tableau 176 : Répartition des surfaces agricoles en pourcentages selon la zone climatique en France hexagonale en 2023 566
Tableau 177. Répartition des surfaces en pourcentages selon la zone climatique en Outre-Mer 567
Tableau 178. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2021 - Retraitement Citepa à partir des données des enquêtes pratiques culturales, avant optimisation 570
Tableau 179. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2021 et en 2017 pour les prairies - Retraitement Citepa à partir des données des enquêtes pratiques culturales, avant optimisation 571
Tableau 180 : Récapitulatif des méthodes d'estimation du CH_4 entérique 576
Tableau 181 : Récapitulatif des facteurs d'émission CH_4 entérique et paramètres associés 581
Tableau 182 : Paramètres et sources associées pour le calcul du CH_4 entérique des bovins avec la méthode Giec 2019 584
Tableau 183 : Paramètres et sources associées pour le calcul du CH_4 entérique des ovins et caprins avec la méthode Giec 2019 585
Tableau 184 : Comparaison des facteurs d'émission (FE) CH_4 entérique – MONDFERENT I et II / Giec 2019 586
Tableau 185 : Comparaison des EB - MONDFERENT I et II / Giec 2019 586
Tableau 186 : Comparaison des Ym - MONDFERENT I et II / Giec 2019 587
Tableau 187 : Comparaison des FE nationaux aux FE Tiers 1 du Giec 2019 587
Tableau 188 : Paramètres Bo utilisés dans l'inventaire 595
Tableau 189 : Correspondances FCM et systèmes de gestion 595
Tableau 190 : Valeurs de FCM retenues selon les climats 596
Tableau 191 : Correspondances facteurs d'émission et systèmes de gestion 597
Tableau 192 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion 599
Tableau 193 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion 602
Tableau 194 : Tableau récapitulatif des proportions de TAN utilisées par catégorie animale 605
Tableau 195 : Facteurs d'émission de N-NH3 au bâtiment 606
Tableau 196 : Facteurs d'émission de N-NH_3 au stockage 608
Tableau 197 : Facteurs d'ajustement ($FA_{i,m}$) liés aux pratiques d'épandage 612
Tableau 198 : Facteurs d'émission de N-NH3 à l'épandage 612
Tableau 199 : Facteurs d'émission de N-NH3 à la pâture 614
Tableau 200 : Comparaison des SV – MONDFERENT I et II / Giec 2019 616
Tableau 201 : Comparaison des Fex – MONDFERENT I et II / Giec 2019 617
Tableau 202. Récapitulatif des paramètres utilisés pour le calcul des facteurs d'émission du riz* 624
Tableau 203. Surfaces de riziculture pour la France hexagonale, la Guyane et Mayotte 624
Tableau 204. Fertilisation azotée par culture en Outre-Mer 630
Tableau 205. Facteur d'émission des émissions de N_2O (kgN-N_2O/kgN) pour 2024 635
Tableau 206. Facteurs d'émission des histosols cultivés - kg N-N_2O/ha/an - source : IPCC (2013) [1193] 636
Tableau 207 : 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 637
Tableau 208: Azote apporté aux sols cultivés par source en France hexagonale (tonnes d'azote) 639
Tableau 209: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE (tonnes d'azote) 640
Tableau 210: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d'Outre-mer non inclus dans l'UE (tonnes d'azote) 641

Tableau 211 : Facteurs d'émission de NH_3 pour les engrais minéraux en 2024 644
Tableau 212 : Répartition des amendements carbonés 653
Tableau 213 : Détails relatifs au suivi des terres (*land representation*) 661
Tableau 214 : Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour le CO2 (France hexagonale) 662
Tableau 215 : Lien entre le niveau de détail du modèle et les exigences de tier 663
Tableau 216: Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour l'Outre-Mer (inclus dans l'UE) 663
Tableau 217 : Catégories du secteur UTCATF estimées (O = Oui / N = Non) dans l'inventaire français 663
Tableau 218 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF pour la France hexagonale et l'Outre-mer (UE) 665
Tableau 219 : Substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en niveau (2024) 666
Tableau 220 : Substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en tendance (1990-2024) 666
Tableau 221 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Terres Forestières 668
Tableau 222 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Terres Cultivées 669
Tableau 223: Extrait de la nomenclature pour la catégorie Prairies 671
Tableau 224 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Zones humides 672
Tableau 225 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Etablissements 673
Tableau 226 : Extrait de la nomenclature pour la catégorie Autres Terres 673
Tableau 227 : Sources d'information utilisées pour le suivi des terres en fonction du territoire 676
Tableau 228 : Représentativité d'un point d'enquête dans chaque strate [673] 679
Tableau 229 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Guyane (ha) 680
Tableau 230 : Matrice 2008-2012 produite par les travaux de photo-interprétation en Guyane (ha) 680
Tableau 231 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Guadeloupe (ha) 680
Tableau 232 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Martinique (ha) 680
Tableau 233 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation pour La Réunion (ha) 680
Tableau 234 : Matrice 1989-2009 produite en combinant plusieurs sources d'information pour Mayotte (ha) 681
Tableau 235 : Matrice 1989-2009 produite sur la base de données ESA CCI-LC pour Saint Martin (ha) 681
Tableau 236: : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne en Outre-mer (peuplements forestiers) 684
Tableau 237 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante racinaire en Outre-mer (peuplements forestiers) 685
Tableau 238 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne hors forêt (Outre-Mer) 685
Tableau 239 : Stocks de carbone (tC/ha) dans le bois mort des terres forestières en Outre-mer 687
Tableau 240 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la litière des terres forestières en Outre-mer 688
Tableau 241: Stocks de référence des sols dans les territoires d'Outre-mer. 688
Tableau 242 : Paramètres de calcul pour les sols organiques (histosols) drainés. 689
Tableau 243 : Incertitudes en UTCATF 698
Tableau 244 : Surfaces en forêt (en milliers d'ha) 701
Tableau 245 : Emissions / Absorptions en forêt (en $ktCO_2e$) 701
Tableau 246 : Campagnes de l'inventaire forestier national fournies par l'IGN utilisées dans l'inventaire UTCATF (France hexagonale) 706
Tableau 247 : Mortalité annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN en France hexagonale (exemple pour l'année 2007) 709
Tableau 248 : Paramètres et bilan pour la biomasse forestière totale en France hexagonale (ktC/an) 710
Tableau 249 : Récoltes de bois matériau et bois énergie en France hexagonale depuis 1990 fournies par le SSP [200] et le bilan de l'énergie [1] 720
Tableau 250 : Facteurs d'expansion utilisés pour les prélèvements de bois matériau. 721
Tableau 251 : Infradensité utilisées pour les principales essences [598]. 722
Tableau 252 : Données forestières pour les départements d'Outre-mer 725

Tableau 253 : Surfaces incendiées en France depuis 1990 728
Tableau 254: Stocks par compartiment et type de surface brûlée utilisés pour le calcul des émissions liées aux feux de forêts 730
Tableau 255 : Facteurs de combustion par compartiment carbone en fonction des surfaces incendiées 730
Tableau 256 : 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] 732
Tableau 257 : Surface de forêt par DOM (ha) 737
Tableau 258 : Paramètres d'accroissement de la biomasse forestière. 738
Tableau 259 : Résultats intermédiaires pour l'accroissement en Outre-Mer 738
Tableau 260 : Résultats intermédiaires pour les prélèvements en Outre-Mer 739
Tableau 261 : Bilan d'émission des forêts des DOM (tCO2) 740
Tableau 262 : Surfaces en cultures (en milliers d'ha). 750
Tableau 263 : Emissions / Absorptions en cultures (en ktCO_2e) 752
Tableau 264 : Surfaces en prairies (en milliers d'ha) 763
Tableau 265 : Emissions / Absorptions en prairies (en kt CO_2e) 764
Tableau 266 : Surfaces en zones humides (en milliers d'ha) 773
Tableau 267 : Emissions / Absorptions en zones humides (en ktCO_2e) 774
Tableau 268 : Surfaces en zones urbanisées (en milliers d'ha) 780
Tableau 269 : Emissions / Absorptions en zones urbanisées (en ktCO_2e) 781
Tableau 270 : Surfaces en autres terres (en milliers d'ha) 788
Tableau 271 : Emissions / Absorptions en autres terres (en ktCO_2e) 789
Tableau 272 : Emissions /absorptions pour les produits bois (ktCO_2e) 794
Tableau 273 : Principales sources de données pour les Produits Ligneux Récoltés 795
Tableau 274 : Durées de demi-vie des produits bois 796
Tableau 275 : Production de produits bois issus des prélèvements intérieurs 797
Tableau 276 : Fin de vie des produits bois issus des prélèvements intérieurs 798
Tableau 277 : Production de déchets en France en 2022 (En milliers de tonnes) 806
Tableau 278 : Traitement par type de déchets en France en 2022 (En milliers de tonnes) 807
Tableau 279 : Émissions de gaz à effet de serre des DECHETS (CRT 5) 812
Tableau 280 : Substances pour lesquelles le secteur 5A est source clé en 2024 (hors UTCATF) 813
Tableau 281 : Composition des ordures ménagères entre 1993 et 2017 820
Tableau 282 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 1993 821
Tableau 283 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 2007 821
Tableau 284 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 2017 822
Tableau 285 : Composition des déchets stockés en installation de stockage recevant des déchets ménagers (y.c. déchets industriels, hors boues) dans l'Hexagone

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%*
2024	14.8%	3.9%	17.1%	6.0%	2.7%	6.7%	48.8%	*19.4%*

..... 824
Tableau 286 : Historique du facteur d'oxydation des sites contrôlés non compactés 826
Tableau 287 : Substances pour lesquelles le secteur 5B est source clé en 2024 (hors UTCATF) 830
Tableau 288 : Quantité de déchets compostés entre France (Gg) 831
Tableau 289 : Quantité de déchets méthanisés entre France (Gg) 831
Tableau 290 : Facteurs d'émission du méthane (g CH_4/t) du compostage industriel 832
Tableau 291 : Facteurs d'émission du méthane (mg CH_4/kg) du compostage domestique 833
Tableau 292 : Facteurs d'émission du méthane (g CH_4/t) de la méthanisation 834
Tableau 293 : Taux d'humidité moyen (%) par type de déchets 834
Tableau 294 : Facteurs d'émission du protoxyde d'azote (g N_2O/t) du compostage industriel 835
Tableau 295 : Facteurs d'émission du protoxyde d'azote (mg N_2O/kg) du compostage domestique 835
Tableau 296 : Substances pour lesquelles le secteur 5C est source clé en 2024 (hors UTCATF) 839

Tableau 297 : Composition des déchets incinérés en UIDND (y.c déchets industriels, hors boues) dans l'Hexagone

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%
2024	21.7%	5.2%	14.7%	11.5%	2.8%	9.9%	0.1%	31.4%	17.2%	0.5%	0.0%	2.1%

..... 847
Tableau 298 : Facteurs d'émission de N_2O associés à l'incinération de déchets ménagers (g N_2O/Mg de déchets)... 847
Tableau 299 : Facteurs d'émission de CO_2 associés à l'incinération de déchets dangereux (kg CO_2/Mg de déchets). 848
Tableau 300 : Facteurs d'émission de CH_4 associés à l'incinération de déchets dangereux (g CH_4/Mg de déchets)... 849
Tableau 301 : Facteurs d'émission de N_2O associés à l'incinération de déchets dangereux (g N_2O/Mg de déchets) . 849
Tableau 302 : Quantité de déchets verts gérés en gestion domestique (Hexagone et DOM) en Gg: 850
Tableau 303 : Part du brûlage dans la gestion domestique (Hexagone et DOM) en % 850
Tableau 304 : Quantité de déchets verts gérés en gestion domestique et brûlés (Hexagone) en Gg 850
Tableau 305 : Substances pour lesquelles le secteur 5D est source clé en 2024 (hors UTCATF) 855
Tableau 306 : Répartition du type de traitement des eaux usées domestiques dans l'Hexagone 856
Tableau 307 : Evolution de la consommation journalière de protéines d'un habitant 857
Tableau 308 : Demande Chimique en Oxygène (DCO) des industries de l'agroalimentaire (IAA) traitée par lagunage naturel 865
Tableau 309 : Quantité de boues méthanisées en STEU industrielles 866
Tableau 310 : Rejets d'azote des eaux industrielles vers des STEU (Mg N/an) 869
Tableau 311 : Rejets d'azote des eaux industrielles vers les milieux naturels (Mg N/an) 869
Tableau 312 : Résumé des modifications des descriptions méthodologiques et des recalculs 877
Tableau 313 : Écart en émissions entre la version de mars 2024 et celle de mars 2025 (pour les années 1990 et 2022) – périmètre France UE 882
Tableau 314 : Écart en évolution entre la version de mars 2024 et celle de mars 2025 - périmètre France UE 883
Tableau 315 : Suivi des améliorations méthodologiques envisagées sur les inventaires 884
Tableau 316 : Evaluation des catégories clés en 2024 – analyse des niveaux d'émissions hors UTCATF – Tier 1 894
Tableau 317 : Evaluation des catégories clés en 1990 – analyse des niveaux d'émissions hors UTCATF – Tier 1 895
Tableau 318 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2024 – analyse des évolutions des émissions hors UTCATF – Tier 1 897
Tableau 319 : Évaluation des catégories clés 2024 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 1 898
Tableau 320 : Évaluation des catégories clés 1990 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 1 900
Tableau 321 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2024 – analyse des évolutions des émissions avec UTCATF – Tier1 902
Tableau 322 : Évaluation des catégories clés 2024 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 2 904
Tableau 323 : Évaluation des catégories clés 1990 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 2 905
Tableau 324 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2024 – analyse des évolutions des émissions avec UTCATF – Tier 2 906

Tableau 325 : Calcul d'incertitude sur les émissions des GES en France en 2024 908
Tableau 326 : Calcul d'incertitude sur les émissions des GES en France en 1990 910
Tableau 327 : Correspondances entre "capacité" des enquêtes bâtiment et catégorie animale de la SAA 916
Tableau 328 : Paramètres utilisés pour la pondération des capacités truies 917
Tableau 329 : Correspondances entre les capacités des enquêtes bâtiment et les libellés des pratiques d'élevage . 917
Tableau 330 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches laitières 919
Tableau 331 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches allaitantes et autres bovins 919
Tableau 332 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut du Porc 921
Tableau 333 : Premiers retraitements des données pratiques d'élevage 2015 par le Citepa pour les bovins 923
Tableau 334 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 (et recensement agricole 2020) – Bovins 924
Tableau 335 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 - Porcins 926
Tableau 336 : Traitement des données sur les systèmes de gestion des déjections sur la période 931
Tableau 337 : Traitement des données sur les temps d'hébergement sur la période 932
Tableau 338 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Bovins 932
Tableau 339 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Porcins 935
Tableau 340 : Besoins en paille par catégorie animale - Ovins 935
Tableau 341 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Ovins 936
Tableau 342 : Besoins en paille par catégorie animale - Caprins 936
Tableau 343 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Caprins 936
Tableau 344 : Attribution des rations Cniel par anciennes régions 942
Tableau 345 : Teneurs moyennes retenues des aliments composant les rations 943
Tableau 346 : Poids vif moyen par catégorie bovine fine 946
Tableau 347 : Caractéristiques retenues par grande catégorie d'aliment 948
Tableau 348 : Pourcentages recalculés des effectifs porcins élevés en bâtiment avec traitement de l'air par grande région productrice et solde national 951
Tableau 349 : Attribution des taux d'application de traitement de l'air sur la période 952
Tableau 350 : Résumé des modes d'estimation du nombre de stations de traitement par nitrification-dénitrification sur la période 952
Tableau 351 : Résumé des modes d'estimation de l'azote résorbé par nitrification-dénitrification sur la période 953
Tableau 352 : Pourcentages des lisiers stockés en fosse couverte pour les bovins, porcins, caprins et ovins en métropole pour 2015 et 2020 954
Tableau 353 : Attribution des taux d'application de la couverture de fosse sur la période 955
Tableau 354 : Combinaisons des pratiques tirées des enquêtes Pratiques Culturales 2011, 2017 et 2021 957
Tableau 355. Attribution des taux d'application des différents modes d'épandage sur la période 959
Tableau 356. Estimation de la masse volumique d'un PRO liquide en fonction de sa teneur en matière sèche (%MS) 961
Tableau 357. Hypothèses de répartition des UGB bovins selon le mode de gestion, temps pâture et volumes de lisier récupérable 962
Tableau 358. Tonnages d'intrants en méthanisation en 2021 (hors fraction lisier) et de digestats liquides sortants 963
Tableau 359. 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] 963
Tableau 360. Estimation du gisement de produits résiduaires organiques liquides épandables par tonne en 2021 .. 965
Tableau 361. 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 966
Tableau 362. Parc de tonnes à lisier dans les ETA en 2022 et volumes épandus – source : étude [1330] 967

Tableau 363. Parc matériel par groupe d'épandage et catégorie de matériel en 2021 : n (g, e) 969
Tableau 364. Caractéristiques du parc de tonnes à lisier en Cuma en 2021. Source : FNCUMA 972
Tableau 105. Équations mobilisées pour le calcul des quantités azotées des résidus de récolte 979
Tableau 366 : Évolutions des productions de céréales et oléagineux (kt) – France hexagonale 981
Tableau 367 : Évolutions des productions de protéagineux, tubercules, fourrages et herbe (kt) – France hexagonale 982
Tableau 368 : Principaux paramètres retenus pour les calculs associés aux résidus de culture 984
Tableau 369 : Modifications intervenues dans le secteur de l'énergie (CRT 1) entre la mise à jour de la soumission de mars 2025 et celle de mars 2026 (Périmètre France UE) 996
Tableau 370 : Modifications intervenues dans le secteur des procédés industriels (CRT 2) entre la mise à jour de la soumission de mars 2025 et celle de mars 2026 (Périmètre France UE) 997
Tableau 371 : Modifications intervenues dans le secteur de l'agriculture (CRT 3) entre la mise à jour de la soumission de mars 2025 et celle de mars 2026 (Périmètre France UE) 998
Tableau 372 : Modifications intervenues dans le secteur de l'UTCATF (CRT 4) entre la mise à jour de la soumission de mars 2025 et celle de mars 2026 (Périmètre France UE) 999
Tableau 373 : Modifications intervenues dans le secteur des déchets (CRT 5) entre la mise à jour de la soumission de mars 2025 et celle de mars 2026 (Périmètre France UE) 1000

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 11 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 hexagonale 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 et de la France entière, avec les PRG de l'AR5 du GIEC, des inventaires de GES incluant l'année d'inventaire 2024,

[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 hexagonale + Guadeloupe, Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte depuis 2014 et Saint-Martin).

- **la soumission électronique au format** Json de l'outil CRT (incluant toutes les données rapportées de 1990 à 2024).

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 2025.

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.

Résumé

Généralités sur les inventaires

Le présent rapport national d'inventaire fournit pour la France, sur la période 1990-2024, 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 2026 correspond à la 4ème année de mise en œuvre des inventaires dans le cadre du règlement de gouvernance UE en période post Kyoto 2 (2013-2020). L'année 2026 est aussi la troisième 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 1990-2024, 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

Summary

Background information

This national inventory document supplies emission data for France covering the 1990-2024 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 4th year of inventory implementation within the framework of the EU Governance regulation in the post Kyoto 2 period (2013-2020). The year 2026 also marks the third 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 1990-2024, 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

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.

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 (cadre règlement (UE) 2018/1999 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat) : il s'agit du périmètre géographique de la France pour ses territoires appartenant à l'UE : France hexagonale + 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.

Note : Les évolutions des émissions au périmètre Convention (France entière avec tout l'Outre-mer) (cadre Accord de Paris) sont similaires à celles du périmètre France UE. Les variations des rejets des sept GES se traduisent globalement par une baisse de 32,4 % des émissions totales exprimées en CO2 équivalent (hors UTCATF) en 2024 comparées au niveau de 1990. Les émissions totales, UTCATF inclus, sont en baisse de 36,6 % de 1990 à 2024.

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 2024 à 33 % au-dessous de celles de 1990. Il faut rappeler le caractère exceptionnel du niveau des émissions de GES de

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.

EU France scope (Regulation (EU) 2018/1999 on the governance of the Energy Union and climate action): 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.

Note: Emissions trends within the Convention scope (all of France, including all overseas territories) (under the Paris Agreement) are similar to those within the EU France scope. Changes in emissions of the seven GHG result in an overall 32.4% decrease in total emissions expressed in CO2 equivalents (excluding LULUCF) in 2024 compared to 1990 levels. Total emissions, including LULUCF, are down 36.6% from 1990 to 2024.

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 33 % in 2024 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 (-9.0 % of emissions between 2020 and 2019 excluding LULUCF). An increase of the global emissions is observed for 2021 (+6.1 % 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 6.8% decrease between 2022 and 2023, excluding LULUCF, and this downward trend continues in 2024 with a further 3%

l'année 2020 du fait des mesures sanitaires contre la pandémie de la Covid-19 (-9,0 % d'émissions entre 2019 et 2020 hors UTCATF). L'année 2021 marque un retour à la hausse des émissions (+6,1 % 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 -6,8 % entre 2022 et 2023, hors UTCATF, tendance qui se poursuit en 2024 avec un recul supplémentaire de 3 % par rapport à l'année précédente. 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 32,6 % à celui de 1990, les rejets de méthane sont en recul de 26 %, et les émissions de protoxyde d'azote sont en baisse de 48 %.

L'inventaire met aussi en évidence une évolution très importante des émissions des hydrofluorocarbures en masse (+ 650 %) qui, compte tenu des différences structurelles liées aux molécules mises en jeu, se traduit "seulement" par un accroissement de 102 % 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 87 %, respectivement, sur la période 1990-2024. Enfin, les émissions de trifluorure d'azote (NF_3) enregistrent une baisse de 29 % sur la période 1990-2024.

La contribution des différents gaz à effet de serre est la suivante pour 2024 (en % des émissions en CO_2e hors UTCATF) : CO_2 73,5 % ; CH_4 16,4 % ; N_2O 7,6 % ; HFC 2,3 % ; PFC 0,1 % ; SF_6 0,1 % ; NF_3 < 0,01 %.

reduction compared to the previous year.. This overall trend masks contrasting situations depending on the gases considered. Without LULUCF, the level of CO_2 emissions is 32.6 % lower in 2023 than in 1990, while CH_4 and N_2O emissions fell by 26 % and 48 %, respectively.

The inventory also shows a strong increase in mass hydrofluorocarbons emissions (+ 650 %). Taking into account structural differences in the molecules, it results "only" in a 102 % 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 87 %, respectively. Finally, NF_3 emissions are down by 29 % over the period 1990-2024.

The contribution of the various greenhouse gases is as follows for 2024 (in % of CO_2e emissions excluding LULUCF) (CO_2 73.5 % ; CH_4 16.4 % ; N_2O 7.6% ; HFC 2.3 % ; 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]

EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE (périmètre 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 2026 serre/résumé.xlsx

Substance	Unité	1990		2024		Ecart 2024/90 (%)	
		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	401	372	270	227	-32,6%	-38,9%
	Mt éq. C[d]	109	101	74	62	-32,6%	-38,9%
CH_4	kt	2 926	2 950	2 152	2 179	-26,5%	-26%
	Mt CO_2e	82	83	60	61	-26%	-26%
	Mt éq. C[d]	22	23	16	17	-26%	-26%
N_2O	kt	201	209	105	108	-48%	-48%
	Mt CO_2e	53	55	28	29	-48%	-48%
	Mt éq. C[d]	15	15	8	8	-48%	-48%
HFC	t	659	659	4 938	4 938	650%	650%
	Mt CO_2e	4,2	4,2	9	9	102%	102%
	Mt éq. C[d]	1,2	1,2	2,3	2,3	102%	102%
PFC	t	588	588	29	29	-95%	-95%
	Mt CO_2e	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	12	12	-87%	-87%
	Mt CO_2e	2,2	2,2	0,3	0,3	-87%	-87%
	Mt éq. C[d]	0,6	0,6	0,1	0,1	-87%	-87%
NF_3	t	1,0	1,0	0,7	0,7	-29%	-29%
	Mt CO_2e	0,02	0,02	0,01	0,01	-29%	-29%
	Mt éq. C[d]	0,004	0,004	0,003	0,003	-29%	-29%
CO_2e[b]	Mt CO_2e	547	521	367	326	-33%	-37%
	Mt éq. C[d]	149	142	100	89	-33%	-37%
	kg CO_2e/hab.	9 390	8 943	5 355	4 754	-43%	-47%
	kg C/hab.[**]	2 561	2 439	1 460	1 296	-43%	-47%
	g CO_2e/€ PIB	524	499	126	112	-76%	-78%
	g C/€ PIB[**]	143	136	34	30	-76%	-78%
Gaz à effet de serre indirect							
SO_2	kt	1 348	1 348	80	80	-94%	-94%
NOx	kt	2 159	2 169	675	682	-69%	-69%
COVNM	kt	2 925	4 077	1 054	2 330	-64%	-43%
CO	kt	10 480	10 848	2 258	2 515	-78%	-77%

(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 hexagonale 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	2024	Ecart (%) 2024/90
Population[e]	milliers	58 248	68 543	18%
PIB[e]	milliards € courants	1 044	2 920	180%

(e) source INSEE

Tendances relatives aux émissions par catégorie de sources

L'énergie, avec 67,9 % des émissions totales en CO_2e hors UTCATF en 2024, occupe le premier rang des catégories de sources émettrices en France au sens de la classification de la CCNUCC devant l'agriculture, 18,2 %. Viennent ensuite les procédés industriels, 9,0 % et les déchets 4,9 %. 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 2024 :

- une baisse considérable des émissions de N_2O de la chimie (-99 %) et, à un degré moindre, des sols agricoles (-18 %),

- une baisse conséquente des émissions fugitives de CH_4 consécutivement à l'arrêt de l'exploitation des mines de charbon (-90%),

- 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 (+102 % en CO_2e).

Le bilan de l'UTCATF représente un puits de CO_2 compensant, en 2024, environ 15,9 % des émissions totales hors UTCATF de GES exprimées en CO_2e (soit 42,8 Mt CO_2e).

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

Entre 1990 et 2024, 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 **94 % pour le dioxyde de soufre, de 77 % pour le monoxyde de carbone, de 69 % pour les oxydes d'azote et de 43 % 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 2024 in France with regard to UNFCCC source categories amounting to 67.9 % of the CO_2e national total emissions without LULUCF. Agriculture, industrial processes and waste sectors represent 18.2 %, 9.0 % and 4.9 % 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 2024 include:

- a considerable reduction in N_2O emissions in the chemical industry (-99 %) and, to a lesser extent, from agricultural soils (-18 %),

- 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 2024, the CO_2 balance for LULUCF is a net removal which represents around 15.9 % of the total GHG emissions without LULUCF contribution, expressed as CO_2 equivalent (i.e., 42.8 Mt CO_2e).

Indirect greenhouse gas emissions (LULUCF included)

Between 1990 and 2024, there was a downward trend in mass emissions of the four gases that indirectly contribute to the greenhouse effect: **-94 % for sulphur dioxide, -77 % for carbon monoxide, -69 % for nitrogen oxides and -43 % for non-methane volatile organic compounds.**

1. SYSTEME 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

[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.

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 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. 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 %. Cela se traduit notamment par une révision à la baisse des budgets carbone de la SNBC-2 pour les périodes 2024-2028 et 2029-2033, et l'introduction d'un budget carbone pour la période 2034-2038[4].

Inventaires nationaux de gaz à effet de serre

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 2026 à l'UE correspond à la 4ème 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 :

[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.

[4] https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/3e-strategie-nationale-bas-carbone-snbc-3

- 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).

Il est à noter que le périmètre de l'inventaire de la France varie selon le cadre de rapportage :

- Au niveau européen – dans le cadre du règlement (UE) 2018/1999 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat (dit règlement « Gouvernance »), la France rapporte son inventaire d'émissions de GES selon le périmètre « France UE », i.e. France hexagonale et territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE comprenant la Guadeloupe, la Martinique, la Guyane, La Réunion, Mayotte depuis 2014 et Saint-Martin.
- Au niveau international – en tant que signataire de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), et de l'accord de Paris, la France rapporte son inventaire cette fois-ci selon le périmètre France entière, i.e. France hexagonale et l'ensemble des territoires français situés Outre-mer.

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[5], soit UTCATF inclus,
- CH_4 méthane exprimé en CH_4,

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

- 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'environnement**, 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'environnement.

Le ministère chargé de l'environnement 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[6] 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

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

SECTEUR	TYPE DE DONNÉES	ORGANISME ÉMETTEUR DES DONNÉES
Energie	Bilan de l'énergie. Consommation d'énergie en France. Consommation et ventilation des produits pétroliers à usage non énergétique. Consommations d'énergie dans l'industrie. Consommations d'énergie dans le résidentiel et le tertiaire. Consommations d'énergies renouvelables dans l'industrie et le résidentiel/tertiaire. Bilan de la pétrochimie.	Ministère chargé de l'industrie
	Déclarations annuelles des rejets polluants de certaines installations classées.	Ministère chargé de l'environnement
	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. Statistiques du transport maritime 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'environnement
	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'environnement
	Production, imports et exports, consommation de peinture/encre/colle.	IINSEE et ministère chargé du commerce extérieur
Agriculture	Statistiques agricoles. Caractérisation des modes d'élevage (mode de gestion des déjections, bâtiments). Caractérisation des pratiques culturales. Facteurs d'émission.	Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche INRA
UTCF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)	Statistiques forestières. Utilisation du territoire. Récolte de bois et production de sciages.	Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche
	Accroissement et stocks forestiers en France hexagonale.	IFN

SECTEUR	TYPE DE DONNÉES	ORGANISME ÉMETTEUR DES DONNÉES
	Température/rayonnement solaire global.	Réseau RenEcofor/ONF
Déchets	Inventaire des installations de traitement des déchets ménagers et assimilés. Statistiques déchets de soins à risques 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'environnement
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

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 chargé de l'environnement prend les décisions finales concernant les inventaires.

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.

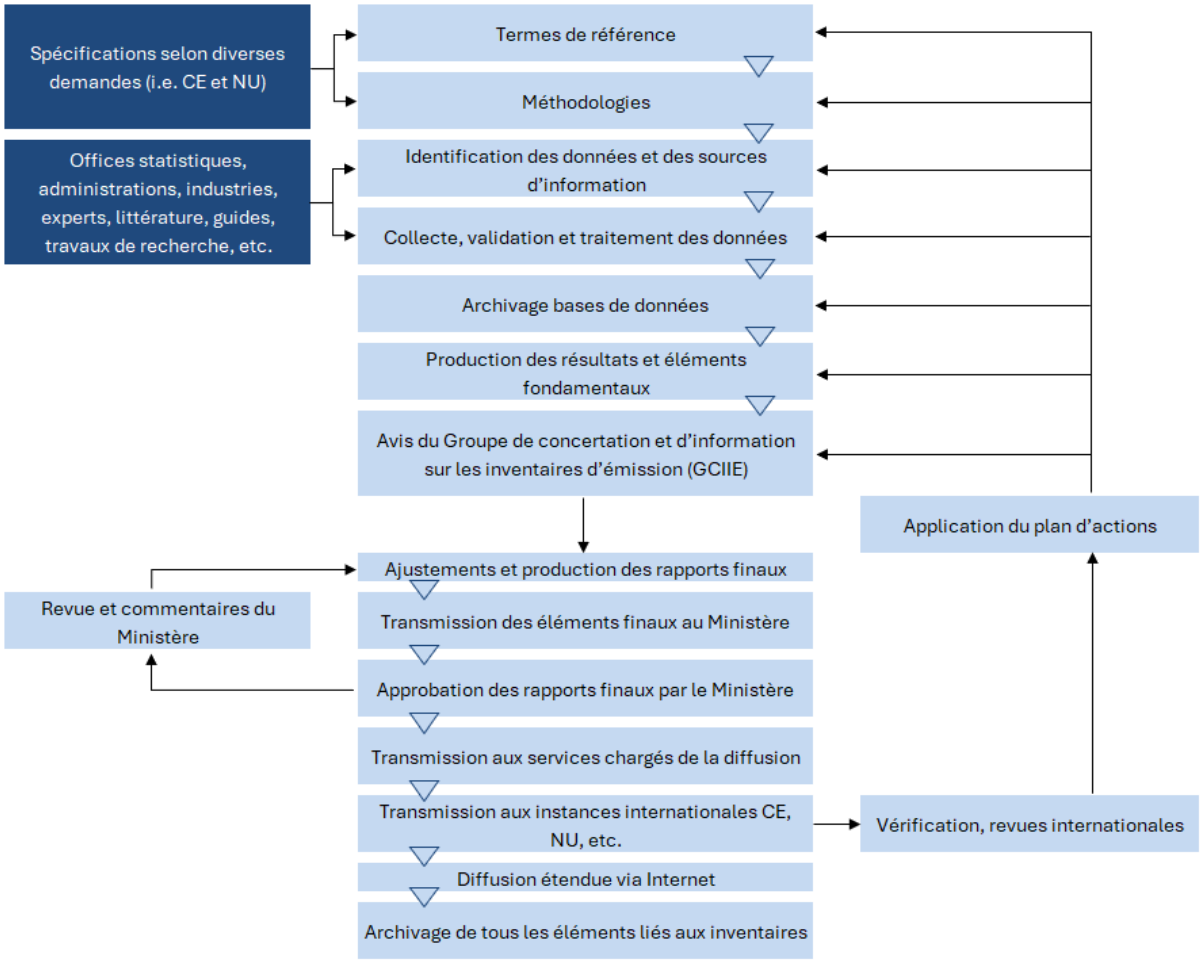
Les éléments finalisés sont remis au ministère chargé de l'environnement qui, après examen et approbation, les communique aux instances internationales.

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.

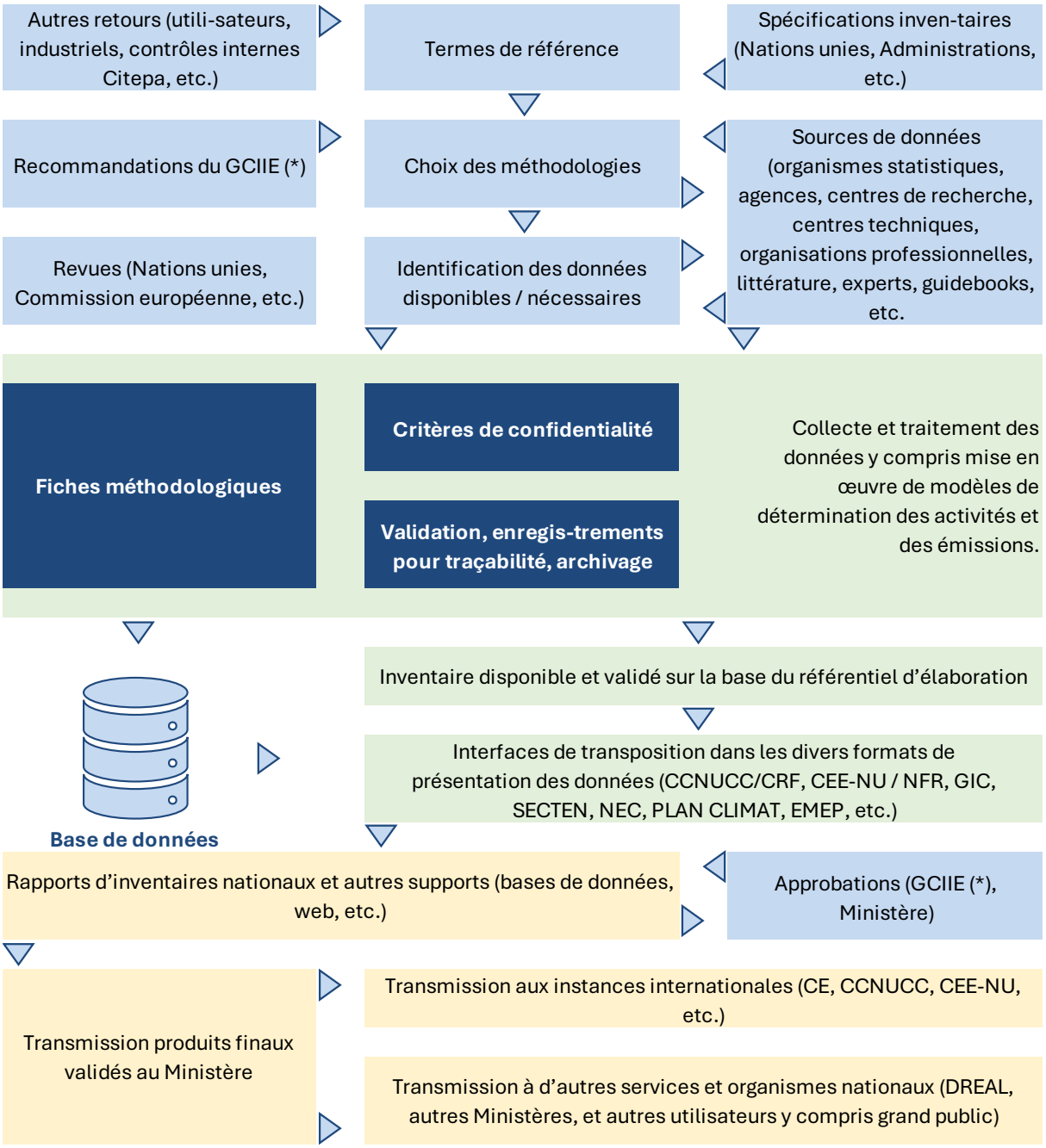
Le tableau ci-dessous dresse la liste des principaux formats produits par le SNIEBA.

Tableau 3 : Principaux formats de rapportage produits par le SNIEBA

Inventaire	Nom du format opérationnel
CCNUCC	Common Reporting Table (CRT) pour l'Accord de Paris à partir de décembre 2024. Jusqu'à mi-2024, il s'agissait du Common Reporting Format (CRF).
CEE-NU et NEC	Nomenclature For Reporting (NFR)
CEE-NU (EMEP)	EMEP (NFR limité en résolution mais grille 0.1° x 0.1°)
GIC/IED	GIC (partie sur une base individuelle et partie agrégée)
SECTEN	SECTEN niveaux 1 et 2
NAMEA	NAMEA
PLAN CLIMAT	PLAN CLIMAT (dérivé du format national SECTEN, visant à reconstituer les secteurs économiques traditionnels)

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 :

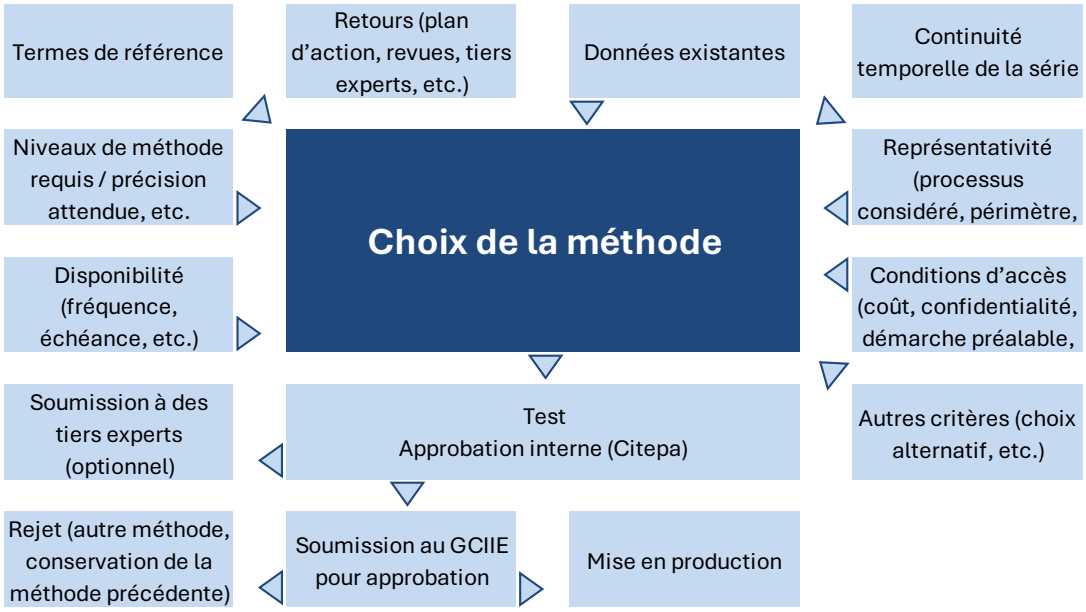
Tableau 4 : Présentation des différents référentiels utilisés

Elément	Nom du référentiel	Source
Activité émettrice (niveau élaboration)	Selected Nomenclature for Air Pollution (SNAP)	EMEP / CORINAIR (SNAP 97) adaptée par le Citepa (SNAP 97c)
Combustible (niveau élaboration)	Nomenclature for Air Pollution of FUEls (NAPFUE)	EMEP / CORINAIR (NAPFUE 94) complétée par le Citepa (NAPFUE 94c)
Catégories de sources pour CCNUCC	Common Reporting Tables (CRT)	CCNUCC / GIEC
Catégories de sources pour CEE-NU / LRTAP	Nomenclature For Reporting (NFR)	CEE-NU
Catégories de rapport Plan Climat	Catégories Plan Climat	Ministère / DGEC (dérivé du format national SECTEN, reconstituant les secteurs économiques traditionnels)
Entités géographiques	Nomenclature des Unités Territoriales Statistiques (NUTS), Administratives	EUROSTAT et INSEE

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 Consommations d'énergie en France Consommation et ventilation des produits pétroliers à usage non énergétique Consommations d'énergie dans l'industrie. Consommations d'énergie dans le résidentiel et le tertiaire Consommation d'énergies renouvelables dans l'industrie et le résidentiel/tertiaire 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 Statistiques du transport maritime 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 Caractérisation des modes d'élevage (mode de gestion des déjections, bâtiments), caractérisation des pratiques culturales 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 Utilisation du territoire Récolte de bois et production de sciages	Ministère chargé de l'agriculture (SSP)
	Accroissement et stocks forestiers en France hexagonale	IGN
	Température/rayonnement solaire global	Réseau RenEcofor/ONF

Déchets	Inventaire des installations de traitement des déchets ménagers et assimilés Statistiques déchets de soins à risques Statistiques déchets industriels	ADEME et Ministère chargé de l'environnement (DGPR)
	Déclarations des rejets polluants 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 ministère chargé de l'environnement 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, 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

[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.

[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 ».

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.

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.

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

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.

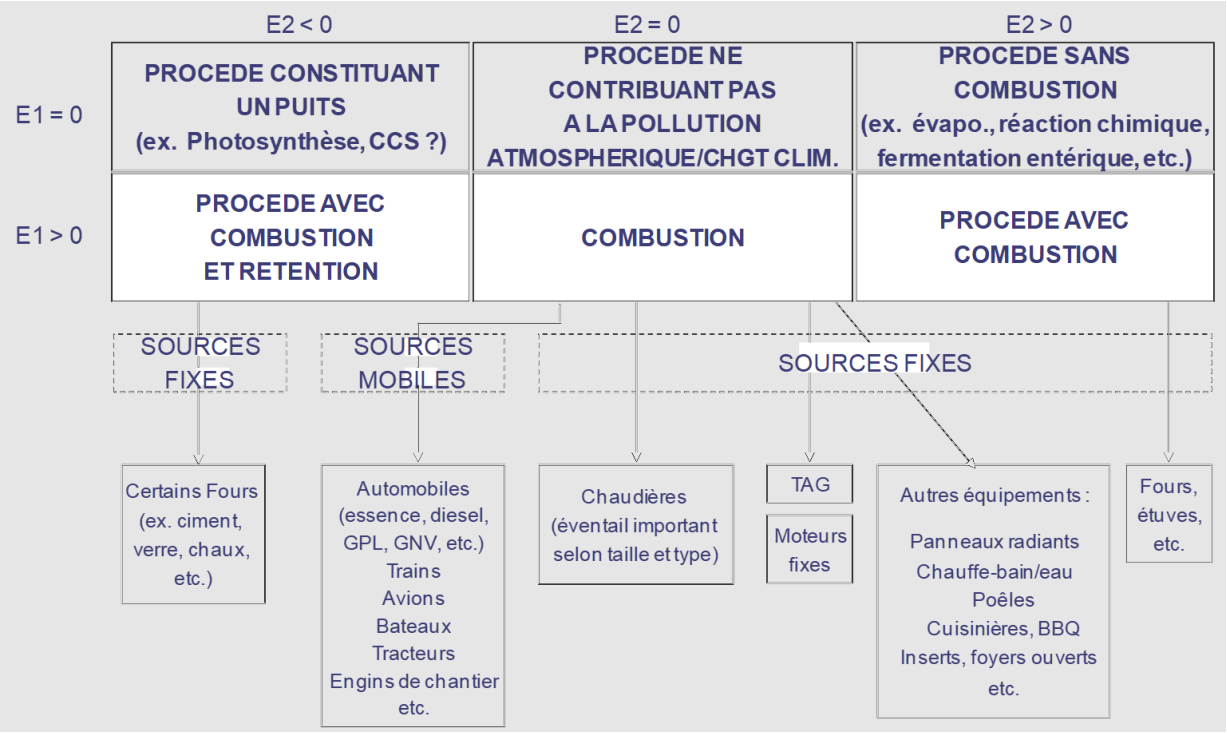
$E_1 = 0 \; et \; E_2 \rangle 0$ procédé sans rapport avec l'utilisation de l'énergie ; les émissions proviennent de réactions chimiques, d'actions mécaniques comme le broyage, d'évaporations de produits, etc.

$E_1 \rangle 0 \; et \; E_2 = 0$ 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


E2 < 0
E2 = 0
E2 > 0
E1 = 0
E1 > 0
PROCEDE CONSTITUANT UN PUITS (ex. Photosynthèse, CCS ?)
PROCEDE NE CONTRIBUANT PAS A LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE/CHGT CLIM.
PROCEDE SANS COMBUSTION (ex. évapo., réaction chimique, fermentation entérique, etc.)
PROCEDE AVEC COMBUSTION ET RETENTION
COMBUSTION
PROCEDE AVEC COMBUSTION
SOURCES FIXES
SOURCES MOBILES
SOURCES FIXES
Certains Fours (ex. ciment, verre, chaux, etc.)
Automobiles (essence, diesel, GPL, GNV, etc.) Trains Avions Bateaux Tracteurs Engins de chantier etc.
Chaudières (éventail important selon taille et type)
TAG
Moteurs fixes
Autres équipements : Panneaux radiants Chauffe-bain/eau Poêles Cuisinières, BBQ Inserts, foyers ouverts etc.
Fours, étuves, etc.

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 constructio	T1,T2,T3	D,CS,PS,OTH	T1,T2,T3	D,CS,PS	T1,T2,T3	D,CS,PS										
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,CR,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,NO	D,CS,PS,NA,NO	T2,NA,NO	CS,PS,NA
2.A. Mineral industry	T1,T2,T3	D,CS,PS	NA	NA	NA	NA										
2.B. Chemical industry	T1,T2,T3	D,CS,PS	T1	D	T2,T3	CS,PS	T3,NA	PS,NA	T3,NA	PS,NA	NA	NA	T3,NA	PS,NA	NA	NA
2.C. Metal industry	T1,T2,T3	D,CS,PS	T1,T2,T3,NA	D,CR,CS,PS,NA	NA	NA	NA	NA	T3,NA	PS,NA	NA	NA	NA	PS	NA	NA
2.D. Non-energy products from fuels and solvent use	T1,T2,T3	D,CS,PS,CR	T1,NA	D,NA	T1,NA	D,NA										
2.E. Electronic Industry							T2	CS	T2	CS			T2	CS,PS	T2	CS,PS
2.F. Product uses as ODS substitutes							T1,T2,T3,NA	CS,PS,NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.G. Other product manufacture and use	T1,T3	D,PS	NA	NA	T1,NA	D,CS,NA	T1	D	T1,NA	D,NA	NA	NA	T1,T2,T3,NA,NO	D,CS,PS,NA,NO	NO	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	D										
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														
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										
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	D,CS												
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)*											NA	NA	NA	NA	NA	NA

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 wher 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)

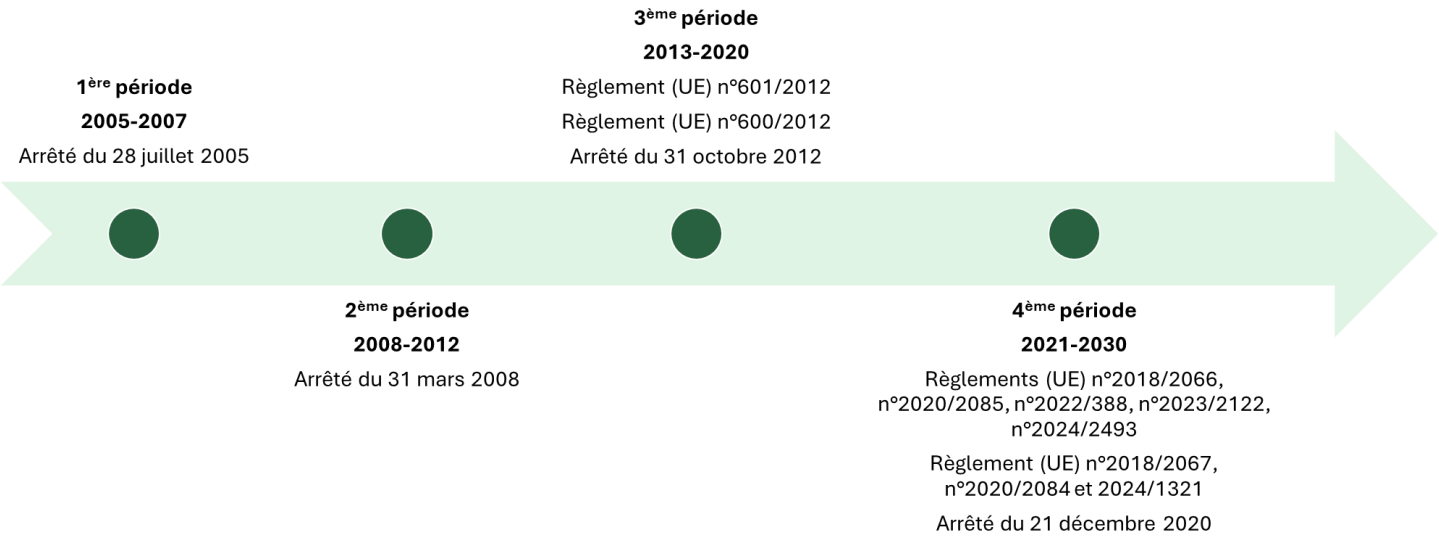
Where a mix of EFs has been used, list all the methods in the relevant cells and provide explanations in the documentation box. Also use the documentation box to explain the use of the notation key "OTH".

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 2024**. 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 (31,2 %) du total des émissions hors UTCATF en 2024. Le CH_4 de la fermentation entérique de l'élevage contribue à hauteur de 10,0 % des émissions totales en équivalent 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 (3,9 %) ainsi que le CH_4 des sites d'enfouissement des déchets (3,1 %), ces cinq entités représentent plus de la moitié (53,5 % précisément) des émissions de gaz à effet de serre en France en 2024 hors UTCATF. Parmi les catégories clés (à 95 %), sur les 7 gaz à effet de serre direct, le CO_2 représente environ 70,5 % 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 (22ème rang en 2024, contribuant à 1,0 % 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 2024 hors UTCATF**. Ce tableau montre que la plupart des catégories clés en niveau d'émissions

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

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 (6ème 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 60 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 1er rang des contributeurs en émissions), pour son poids important et son évolution à la hausse (contribue à hauteur de 18,3 % 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 10,4 %),
- 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 5,0 %.
- le CO_2 issu de la combustion de gaz naturel dans la production d'électricité et de chaleur, pour son poids relatif en 2024 (6ème rang des contributions absolues en 2024), alors qu'il ne faisait pas partie des catégories clés en 1990 (contribution à hauteur de 4,1 % en évolution),
- le N_2O de la production d'acide adipique, en très forte baisse sur la période (contribution à hauteur de 4,1 % 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 2024, 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 2ème position des catégories clés en niveau d'émission avec 10,8 % en 2024. Cette catégorie contribuait également en 1990 avec 5,0 % en niveau d'émission et se classait au 4ème rang. Le transport routier conserve la première place mais sa contribution augmente à 25,1 % en 2024, alors qu'elle était à 17,7 % 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. Au total, les catégories UTCATF représentent 18,6 % des émissions françaises avec les émissions UTCATF en absolu en 2024 (14,5 % 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 (4,8 % de contribution) suite à sa forte réduction depuis 1990, suivie par la catégorie 4G des « produits bois » qui se place en 9ème position (2,7 %) des catégories clés en termes d'évolution, suivie en 14ème position par les « terres converties en prairies » (4C2, 1,9 %) et en 15ème position par les « forêts restant forêts » (4A1, 1,9 %). Les autres catégories de l'UTCATF étant catégories clés, en termes d'évolution de la tendance, sont situées en 19ème, 25ème, 32ème, 51ème, 60ème et 67ème 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 2024. 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 2024, la liste se réduit à 29 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 2024 est le CH_4 des installations de stockage de déchets non dangereux (5A, 20,0 %). Puis vient l'absorption d CO_2 des forêts restant forêts (4A1), qui contribue 8,7 % à la pondération Tier 2. Viennent ensuite le N_2O des émissions indirectes des sols agricoles (3D2, 8,3 %) l'absorptions de CO_2 des terres converties en forêt (4A2, 7,5 %), le N_2O des émissions directes des sols agricoles (3D1, 5,8 %), et le CH_4 de la fermentation entérique des animaux d'élevage (3A, 5,7 %). Ces 6 premières catégories représentent à elles seules plus de la moitié du total des contributions Tier 2 en 2024 (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 2024 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 traitements biologiques des déchets (5B, 0,7 %) et par les émissions fugitives des combustibles et du gaz naturel (1B2b, 0,6 %), et du N_2O émis par la production des enrobés routiers et des produits de recouvrement des routes (1A2g, 0,5 %) respectivement aux 19ème, 21ème, 22ème et 28ème rangs Tier 2. Les émissions de CO_2 des terres converties en zones humides (4D2, 0,8 %) prairies restant prairies (4C1, 0,6 %) 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 11ème 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 34 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 2024, 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, 7,8 %), le N_2O indirect des sols agricoles (3D2, 7,8 %), et le CO_2 des terres converties en terres cultivées (4B2, 7,5 %).

Concernant l'analyse des catégories clés Tier 2 au regard des **évolutions** pondérées par les incertitudes entre 1990 et 2024, celle-ci est présentée dans le dernier tableau de l'annexe 1. Alors que l'analyse Tier 1 a fait apparaître 68 sources formant l'ensemble des catégories clés relatives à 95 % de l'évolution avec UTCATF, la liste se réduit à 42 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 13,0 %,
- le CH_4 provenant des installations de stockage de déchets non dangereux (5A) en deuxième place avec une contribution de 12,1 %.
- le puits de CO_2 des « terres converties en forêts» (4A2), à la 3ème place avec une contribution de 11,5 %.

- les émissions de CO_2 des terres converties en prairies (4C2), 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 4,2 %.
- enfin, les émissions indirectes de N_2O des sols agricoles (3D2) à la 6ème place avec une contribution de 4,1 %.

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 2024 :

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)	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	L,T1	L,T2		
0,00 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
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
2C1 Iron and Steel Production	CO2	X	X	X	X	X
2C2 Ferroalloys Production	CO2	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

Tableau 8 : Résumé des sources clés en 2024 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		
0,00 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
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
1A2g Manufacturing Industries / Other	CO2	X	X	X	X	X		X	X
1A2g Manufacturing Industries / Other	N2O					X	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	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			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
2F1 Refrigeration and Air Conditioning	HFC	X	X	X	X	X	X	X	X
2F4 Aerosols	HFC		X				X	X	X
2G1 Electrical Equipment	SF6						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	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	X		X
4B2 Land converted to Cropland	CO2			X	X	X	X		X
4B2 Land converted to Cropland	N2O				X		X		X
4C1 Grassland remaining Grassland	CO2				X	X	X		X
4C2 Land converted to Grassland	CO2				X		X		X
4D2 Land converted to Wetlands	CO2				X	X	X		X
4E Settlements	CO2			X	X	X	X		X
4F2 Other Land	CO2						X		X
4G Harvested wood products	CO2				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
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'émission est établi en intégrant les critères usuels applicables aux **Systèmes de Management de la Qualité** (SMQ). Le Citepa, qui a la charge de réaliser sur le 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, 2022, 2025 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.

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.

En particulier, cet objectif global se décline en sous éléments :

- Préparation des rapports (notamment rapports nationaux d'inventaires pour certains protocoles et directives européennes) conformément aux critères de contenu et de forme éventuellement exigés (en particulier analyses de tendance, incertitudes, contrôle et assurance de la qualité, système national d'inventaire, méthodes utilisées, etc.),
- Fourniture des données sectorielles de base requises dans les formats de rapports définis (CRT, NFR, GIC, etc.) et en particulier : explications additionnelles, utilisation des codes de notes définis, modifications introduites dans le dernier exercice, ajustements rétrospectifs, données spécifiques, etc.
- Développement des procédures appropriées pour le choix des méthodes et des référentiels, la collecte, le traitement, la validation des données ainsi que leur archivage et leur sauvegarde,
- Détermination des incertitudes quantitatives attachées aux estimations,
- Recherche et élimination des incohérences,
- Développement des procédures d'assurance qualité,
- Contribution à l'amélioration continue des inventaires par :
    - La recherche et la mise en œuvre de méthodes et/ou données plus pertinentes et précises,
    - La formulation de recommandations auprès des divers organismes impliqués dans le système national d'inventaires d'émission, voire d'autres organismes y compris internationaux,
    - La participation aux travaux internationaux sur les thèmes en rapport avec les inventaires d'émissions et les puits,
    - La coopération avec d'autres pays sur ces mêmes aspects,
    - Le respect des échéances communautaires et internationales de communication des inventaires d'émission,

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 :

- Données entrantes
    - Veille relative à la collecte des données (démarches nécessaires, publication effective, relance, etc.),
    - Réception effective (délivrance, captation sur Internet, données effectivement présentes au Citepa),
    - Conformité du contenu au plan quantitatif (flux complet) et qualitatif (éventuelles observations quant à l'échantillonnage, au changement de périmètre, de méthodologie pouvant entraîner une rupture statistique, etc.).
    - Enregistrement et archivage des données brutes avant traitement.
- Traitement des données :

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.

- Contrôle et validation interne des résultats :

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

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

de noter les procédures relatives aux processus de gestion de la qualité mises en place par le Citepa à cet effet (liées à la certification ISO 9001) pour la réalisation des inventaires d'émissions.

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 :

- A assurer la disponibilité de la documentation utilisée pour les inventaires d'émission,
- Au classement et à l'archivage de toutes les données et informations considérées pour chaque inventaire,
- A préserver l'éventuelle confidentialité de certaines données.

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.

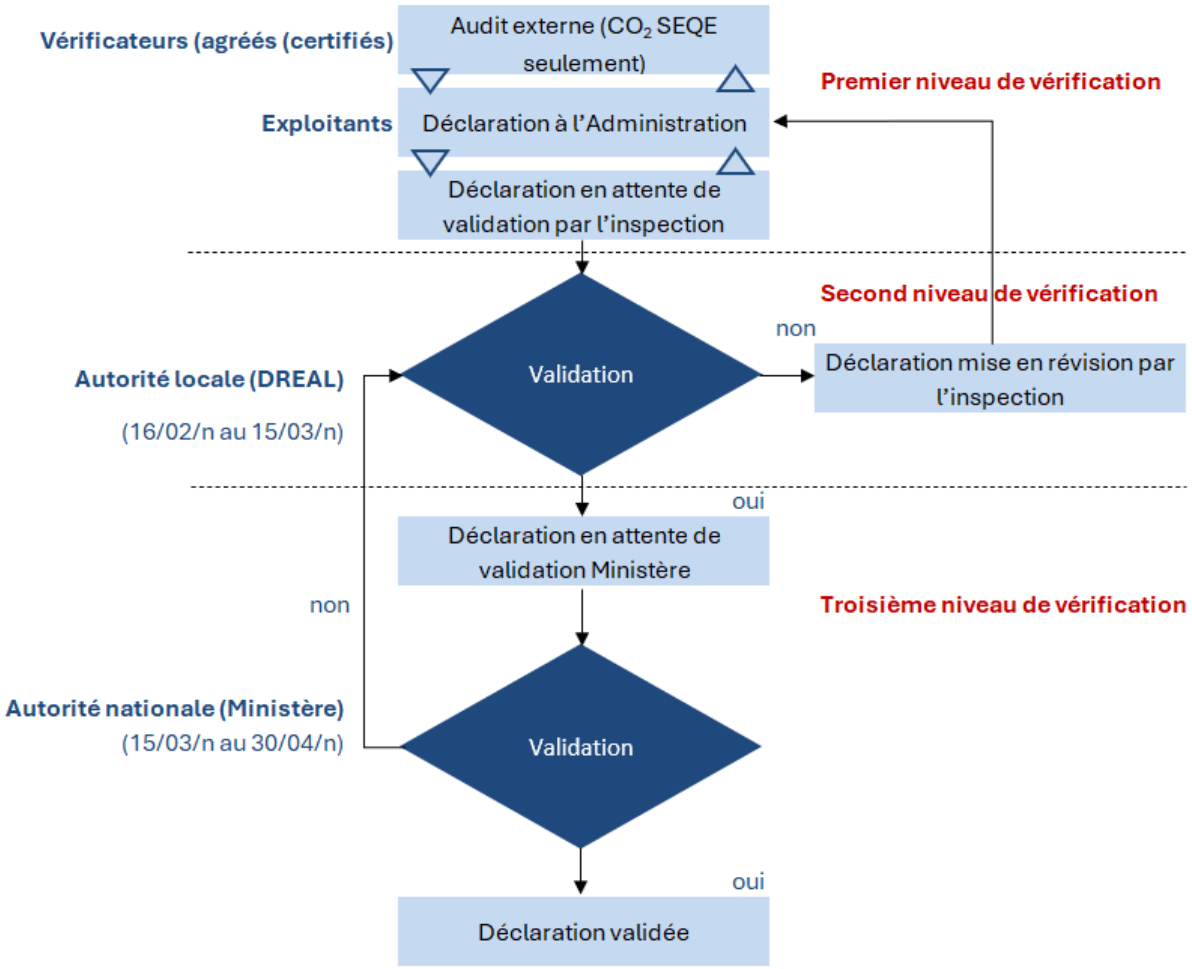
Assurance de la qualité

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) :

→ Les commentaires des membres du Groupe de coordination et d'information sur les inventaires d'émission (GCIIE) qui disposent en outre de leurs propres données de recoupement des éléments méthodologiques.

→ Les évaluations des autorités locales (DREAL) pour ce qui concerne les données individuelles d'activité et/ou d'émission de polluants déclarées annuellement qui concernent plus de 10 000 installations dont la totalité des installations soumises au SEQE (les déclarations SEQE sont par ailleurs vérifiées par des vérificateurs indépendants). A noter que, dans ce dernier cadre, le second niveau de vérification ne peut être franchi si le premier niveau de vérification n'est pas concluant.

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



- L'assurance qualité mise en œuvre par les entités statistiques chargées d'élaborer certaines données dans le cadre des agréments reçus par l'Administration (bilan énergie, productions, etc.). Cette assurance qualité est donc intégrée en amont de l'inventaire proprement dit.

- Les revues diligentées par le Secrétariat des Nations Unies de la Convention Cadre sur les Changements Climatiques depuis 2002 et tous les ans sauf exception (e.g., 2020). Ces revues donnent lieu à des rapports qui permettent d'introduire des améliorations. Bien que ces revues ne correspondent pas aux actions d'assurance qualité organisées par le pays, la nature et les résultats de ces revues sont totalement similaires à ce que produiraient des revues tierces organisées dans le cadre de l'assurance qualité du pays. De nombreuses améliorations introduites dans les inventaires de gaz à effet de serre proviennent de ces revues internationales.

- Les revues effectuées dans les différents cadres (CCNUCC, CEE-NU / LRTAP, CE / Mécanisme communautaire de surveillance des émissions de gaz à effet de serre, etc.) sont autant d'analyses d'experts qui participent chacune, vis-à-vis des autres cadres, à l'assurance qualité des inventaires d'émissions. A minima, ces analyses portent sur des éléments communs tels que les activités de certaines sources (e g. l'énergie), mais aussi de divers autres aspects (organisation, incertitudes, etc.) du fait des éléments communs de rapportage et des fortes similarités entre ces exercices.

- Les examens ponctuels réalisés par diverses personnes ayant accès aux rapports d'inventaires disponibles au public ou faisant suite à des commentaires formulés par des tiers.

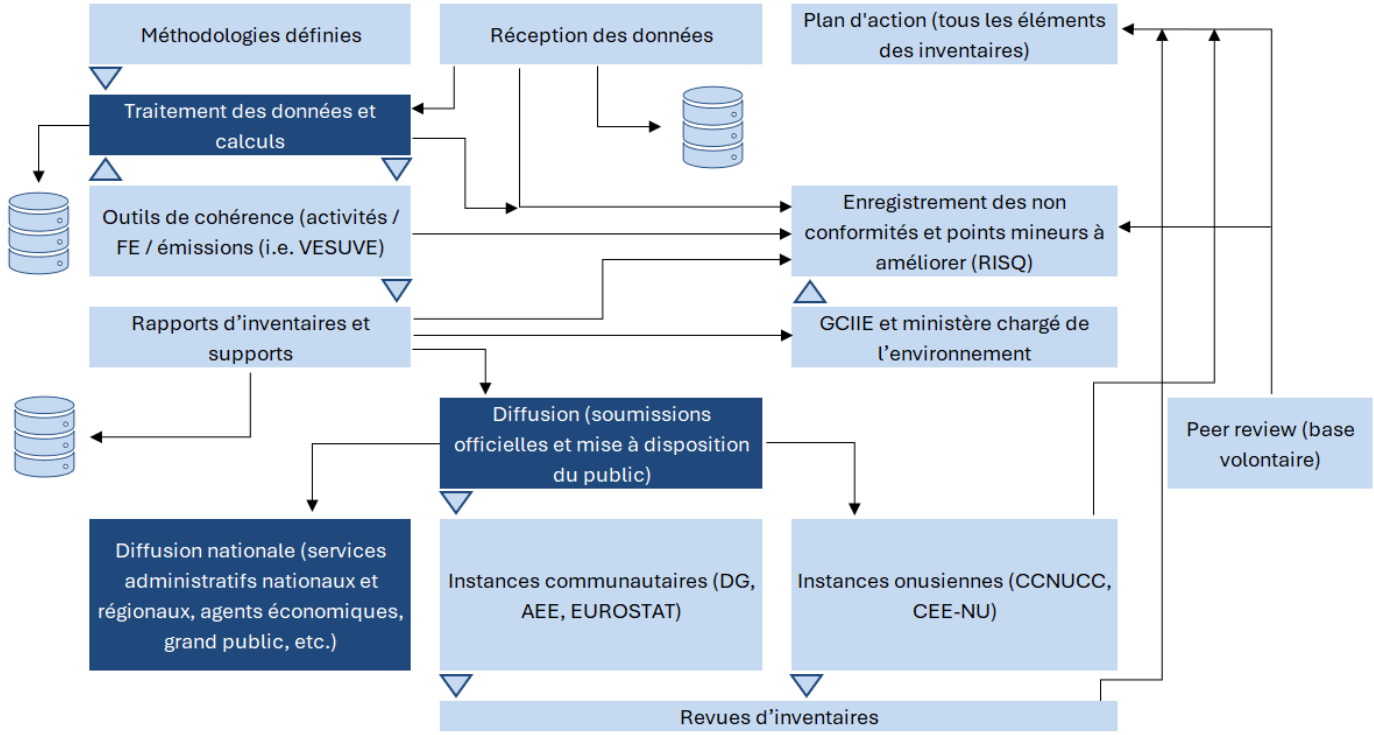
- Les échanges et actions bi et multi latérales conduites avec les organismes et experts étrangers chargés de réaliser des inventaires nationaux. La réalisation de revues complètes et approfondies par des tierces personnes se heurte à la double difficulté de la disponibilité des compétences et des ressources requises. Dans ce registre, des opérations bilatérales entre experts de deux pays et limitées à certains secteurs et / ou polluants sont des formules qui associent intérêt et plus grande facilité de mise en œuvre. Une telle opération a été menée en juillet 2008 entre

experts français et britanniques pour le secteur de l'agriculture et fin 2013/début 2014 entre experts français et allemands pour les émissions de gaz fluorés.

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 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

Quelques exemples (non exhaustifs) d'opérations réalisées sont fournis :

- Méthodologie et traitement des données :
  - Tout développement de traitement des données inclut des tests de vérification de l'exactitude des calculs,
  - Un calcul distinct de l'ordre de grandeur du résultat est effectué,
  - Des indicateurs de bouclage sont introduits dans la mesure du possible,
  - Enregistrement de toutes les méthodes utilisées, des hypothèses associées, des modifications survenues,
  - Analyse de l'impact des méthodes nouvelles ou modifiées.
- Données d'activité et d'émissions :
  - Veille sur la méthode d'élaboration des statistiques utilisées afin de déceler les éventuels biais susceptibles d'affecter l'information utilisée (périmètre, structure, continuité de série, etc.),

[11] RISQ : Réseau Intégré du Système Qualité

- Prise en compte de données spécifiques à certaines sources, notamment les données qui proviennent de la mise en œuvre des dispositions relatives au système d'échange de quotas de gaz à effet de serre (cf. section « methodology introduction_COM ») afin d'assurer une cohérence quasi totale,
- Analyses de tendances, justification des écarts importants,
- Test de présence, de plausibilité, de cohérence, etc.

➢ Non-conformités :

- Les non-conformités décelées en interne ou signalées par des correspondants externes sont examinées (cause et effet), les procédures existantes sont corrigées, les actions correctrices (erratum) mises en place si nécessaire.
- Les non-conformités sont enregistrées pour permettre la mise en place d'actions correctives.

Correspondance entre les procédures générales de niveau 1 du GIEC et celles du SMQ

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

Activités de contrôle qualité		Procédures		Procédures (codes)	Processus impliqués (codes)	Modes opératoires (codes)	Enregistrements (codes)	Commentaires
1	Vérifier que les hypothèses et critères pour la sélection des données sur les activités et les facteurs d'émission sont documentés.	1a	Comparer les descriptions des données sur les activités et les facteurs d'émission à l'information sur les catégories de source et s'assurer qu'elles sont consignées et archivées correctement.	INV-Pd-1.01 INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	
2	Vérifier l'absence d'erreur de transcription dans les entrées de données et les références.	2a	Confirmer que les références bibliographiques sont citées correctement dans la documentation interne.	INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	
		2b	Vérifier par recoupement un échantillon de données d'entrée pour chaque catégorie de source (mesures ou paramètres utilisés pour le calculs) afin de rechercher des erreurs de transcription.	INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	bouclages, examen des tendances des séries historiques par applicatif interne
3	Vérifier que les émissions sont calculées correctement.	3a	Reproduire un échantillon représentatif des calculs d'émissions.	INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	contrôle des modules de calculs par un vérificateur interne désigné
		3b	Simuler sélectivement des calculs d'un modèle complexe à l'aide de calculs abrégés pour évaluer l'exactitude relative.	INV-Pd-1.05 INV-Pd-1.02	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02 INV-En-1.2.0-01	validation du choix des méthodes par comparaison à des modèles simplifiés
4	Vérifier que les paramètres et les unités d'émission sont consignées correctement et que les facteurs de conversion appropriés sont utilisés.	4a	Vérifier que les unités sont étiquettées correctement dans les feuilles de calculs.	INV-Pd-1.05 INV-Pd-1.01	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	cf. tables de références des unités + contrôle automatique des feuillets d'exportation des fiches méthodologiques par applicatif interne
		4b	Vérifier que les unités sont utilisées correctement du début à la fin des calculs.	INV-Pd-1.05 INV-Pd-1.01	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	applicatif interne
		4c	Vérifier que les facteurs de conversion sont corrects.	INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	contrôle automatique des feuillets d'exportation des fiches méthodologiques par applicatif interne
		4d	Vérifier que les facteurs d'ajustement temporel et spatial sont utilisés correctement.	INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	
5	Vérifier l'intégrité des fichiers de la base de données.	5a	Confirmer que les phases de traitement des données appropriées sont représentées correctement dans la base de données.	INV-Pd-1.06 INV-Pd-1.04	CIT-Pr-01	INV-Mo-1.6.1 INV-Mo-1.6.2		
		5b	Confirmer que les relations entre les données sont représentées correctement dans la base de données.	INV-Pd-1.06 INV-Pd-1.04				
		5c	Vérifier que les champs de données sont étiquettés correctement et indiquent les spécifications de conception correctes.	INV-Pd-1.06				
		5d	Vérifier que la documentation appropriée de la base de données et la structure et le fonctionnement du modèle sont archivés.	INV-Pd-1.04				

Activités de contrôle qualité			Procédures	Procédures (codes)	Processus impliqués (codes)	Modes opératoires (codes)	Enregistrements (codes)	Commentaires
6	Vérifier la cohérence des données entre les catégories de source.	6a	Identifier les paramètres (données sur les activités, constantes, etc.) communs à plusieurs catégories de sources et confirmer la cohérence des valeurs utilisées pour ces paramètres dans les calculs d'émissions.	INV-Pd-1.05 INV-Pd-1.01	INV-Pr-01		Fi-SNAP, références des fiches méthodologiques cf. FM (INV-En-1.5.0-01/INV-En-1.5.0-02) et cartographie des liens entre les données communes des fiches méthodologiques	commentaires dans le logigramme du processus
7	Vérifier que le mouvement des données d'inventaires entre les phases de traitement est correct.	7a	Vérifier que les données sur les émissions sont agrégées correctement, des niveaux de présentations inférieurs vers des niveaux supérieurs, lors de la préparation des récapitulatifs.	INV-Pd-1.06	INV-Pr-01			applicatifs externes et internes
		7b	Vérifier que les données sur les émissions sont transcrites correctement entre divers produits intermédiaires.	INV-Pd-1.04	INV-Pr-01		CIT-En-0.2.0-02 CIT-En-0.2.0-03	
				INV-Pd-1.04 INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		CIT-En-0.2.0-05 CIT-En-0.2.0-06 INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	cohérence des données sources et des versions des rapports
8	Vérifier que les incertitudes des émissions et absorptions sont estimées ou calculées correctement.	8a	Vérifier que les qualifications des personnes apportant une opinion d'experts sur l'estimation de l'incertitude sont appropriées.	CIT-Pd-7.01	CIT-Pr-07		*CIT-En-7.1.0-05* *CIT-En-7.1.0-03*	
		8b	Vérifier que les qualifications, hypothèses et opinions d'experts sont consignées. Vérifier que les incertitudes calculées sont complètes et calculées correctement.	CIT-Pd-0.02			*CIT-En-0.2.0-02*	
		8c	Au besoin, dupliquer les calculs d'erreurs ou un petit échantillon des distributions de probabilité utilisés par l'analyse Monte Carlo.	Approche "Monte-Carlo" à développer et appliquer sur quelques secteurs				
9	Effectuer un examen de la documentation interne.	9a	Vérifier qu'il existe une documentation interne détaillée à la base des estimations et permettant la duplication des estimations d'émissions et d'incertitudes.	INV-Pd-1.06	INV-Pr-01			+ OMINEA
		9b	Vérifier que les données d'inventaire, données justificatives et dossiers sont archivés et stockés pour faciliter un examen détaillé.	INV-Pd-1.06 + CIT-Pd-0.03	INV-Pr-01	INV-Mo-1.6.01 INV-Mo-1.6.02		
		9c	Vérifier l'intégrité de tout système d'archivage de données par des organisations externes participant à la préparation de l'inventaire.	CIT-Pd-0.03				

Activités de contrôle qualité		Procédures		Procédures (codes)	Processus impliqués (codes)	Modes opératoires (codes)	Enregistrements (codes)	Commentaires
10	Vérifier les changements méthodologiques et les changements relatifs aux données à l'origine de recalculs.	10a	Vérifier la cohérence temporelle des données d'entrée des séries temporelles pour chaque catégorie de source.	INV-Pd-1.05	INV-Pr-01			contrôle base de données et enregistrement du suivi par applicatif interne
		10b	Vérifier la cohérence des algorithmes/méthodes utilisés pour le calcul pour la totalité des séries temporelles.	INV-Pd-1.02	INV-Pr-01		INV-En-1.2.0-01	
11	Effectuer des vérifications de l'exhaustivité.	11a	Confirmer que les estimations sont présentées pour toutes les catégories de source et pour toutes les années, depuis l'année de référence appropriée jusqu'à la période de l'inventaire courant.	INV-Pd-1.01 INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02	contrôle base de données par applicatif interne
		11b	Vérifier que les lacunes connues en matière de données, à l'origine d'estimations incomplètes pour des catégories de sources, sont documentées.	INV-Pd-1.05	INV-Pr-01		Fi-SNAP + fiches méthodologiques (INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02)	
12	Comparer les estimations à des estimations antérieures.	12a	Pour chaque catégorie de source, comparer les estimations de l'inventaire courant à celles des inventaires antérieurs. En cas de variations importantes ou de variations par rapport à des tendances prévues, vérifier de nouveau les estimations et expliquer toute différence.	INV-Pd-1.05 INV-Pd-1.02	INV-Pr-01		(modification des fiches méthodologiques) INV-En-1.5.0-01 INV-En-1.5.0-02 INV-En-1.2.0-01	+INV-Pd-1.02 pour les changements de méthode utilisation d'un applicatif interne

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 2024 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 2024 est de +/- 6,7 % en niveau d'émission** (i.e. les émissions totales des sept gaz à effet de serre direct en 2024 sont de 367 +/- 25 Mt CO_2e hors UTCATF). Pour les émissions totales UTCATF inclus, l'incertitude sur l'année 2024 est de +/- 8,5 % en niveau d'émission pour des émissions totales de 326 Mt CO_2e.

Comme le montre le tableau de l'annexe 2, **le CH_4 des décharges (5A) affiche une incertitude représentant 5,5 %** 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, 2,3 % des émissions totales), le CH_4 de la fermentation entérique (3A, 1,6 % des émissions totales), le N_2O direct des sols de l'agriculture (3D1, 1,6 % 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 +/- 5,0 % en niveau d'émission** (i.e. les émissions totales hors UTCATF des sept gaz à effet de serre direct en 1990 sont de 547 +/- 27 Mt CO_2e). Pour les émissions totales UTCATF inclus, l'incertitude sur l'année 1990 est de +/- 6,1 % en niveau d'émission pour des émissions totales de 521 Mt CO_2e. Comme pour 2023, **le CH_4 des décharges (5A) affiche l'incertitude la plus importante, représentant 4,0 %** 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 2024, le N_2O indirect des sols de l'agriculture (3D2, 1,8 % 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_2e**

hors UTCATF entre l'année de référence 1990 et 2024 de +/- 1,5 % des émissions totales 1990 hors UTCATF, pour une évolution des émissions de -32,6 %. Pour les émissions avec UTCATF, l'évolution des émissions totales exprimées en CO_2 équivalent en 2024 est de -38,9 % comparativement aux émissions de 1990, et l'incertitude sur la différence entre 2024 et 1990 est de +/- 1,9 % 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 1990-2024 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 France hexagonale 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 2026 — Statuts.xlsx

	Catégorie		Inventaires					
	Statut au regard de la France	Périmètre inclus / non inclus dans l'UE	CEE-NU	NEC	CCNUCC	CCNUCC UE	GIC	SEQE
96 départements sur le continent européen	Départements hors Outre-mer	inclus						
Guadeloupe Guyane Martinique 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 Wallis et Futuna 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

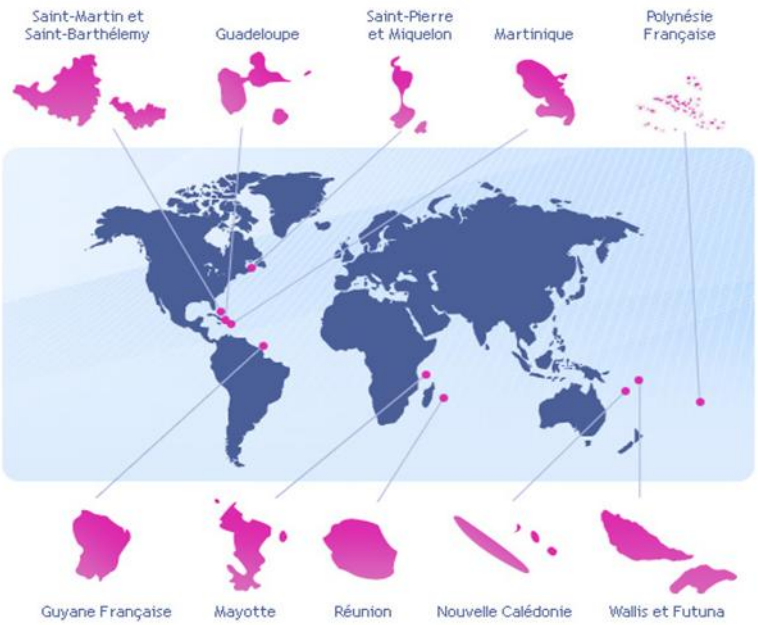
Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 UNFCCC-Para-socio.xlsx

		Superficie	Population (milliers)			PIB (millions € courants)		
		(km²)	1990	2024	Evolution (%) 2024/1990	1990	2024	Evolution (%) 2024/1990
FRANCE HEXAGONALE		**548 473**	**56 709**	**66 272**	**17%**	**1 033 084**	**2 864 767**	**177%**
Territoires Outre-mer inclus dans l'UE	Guadeloupe	1 688	352	382	8,5%	2 004	10 937	446%
	Saint-Martin	56	29	27	-6,1%	364	856	135%
	Martinique	1 128	358	358	-0,2%	2 896	10 440	260%
	Guyane	83 534	113	292	157%	1 170	5 084	335%
	Réunion	2 504	598	892	49%	4 398	24 400	455%
	Mayotte	375	89	320	261%	60	3 416	5611%
	TOTAL OM UE	**89 285**	**1 539**	**2 270**	**48%**	**10 891**	**55 133**	**406%**
PERIMETRE FRANCE UE		**637 758**	**58 248**	**68 543**	**18%**	**1 043 975**	**2 919 900**	**180%**
Territoires Outre-mer non inclus dans l'UE	Nouvelle Calédonie	18 576	169	267	58%	2 099	7 902	277%
	Polynésie Française	3 520	194	279	44%	2 639	5 845	121%
	Wallis et Futuna	142	14	11	-19%	198	200	1,4%
	St-Pierre et Miquelon	242	6	6	-9,9%	135	212	57%
	Saint-Barthélémy	21	5	11	117%	127	494	289%
	TOTAL OM hors UE	**22 501**	**388**	**574**	**48%**	**5 197**	**14 654**	**182%**
TOTAL FRANCE		**660 259**	**58 636**	**69 117**	**18%**	**1 049 172**	**2 934 554**	**180%**

Il en ressort que la France hexagonale représente 83,1 % de la superficie totale de la France, avec 95,9 % de la population et 97,6 % du PIB en 2024. Cependant, l'évolution relative à la hausse à la fois de la population et du PIB est plus forte en Outre-mer qu'en France hexagonale de 1990 à 2024.

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

France hexagonale



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 4,0 Mt CO_2e en 2024 et 6,8 Mt CO_2e 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 France hexagonale – 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_2e en 1990 à 18,0 Mt CO_2e en 2024 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 2024

Sources and sinks not estimated ("NE")			
GHG	**Sector**	**Source/sink category**	**Explanation**
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	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	4. Land Use, Land-Use Change and Forestry	Sectors/Totals > Land use, land-use change and forestry > Harvested wood products > Approach B > Approach B1 > Total HWP from domestic harvest > Other (please specify)	

Sources and sinks not estimated ("NE")			
GHG	**Sector**	**Source/sink category**	**Explanation**
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 > 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	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.
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	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	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	1. Energy	Sectors/Totals > Energy > Fugitive emissions from fuels > Solid fuels > Fuel transformation	According to IPCC, 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 2024

Sources and sinks reported elsewhere ("IE")				
GHG	**Source/sink category**	**Allocation as per IPCC Guidelines**	**Allocation used by the Party**	**Explanation**
CO2	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 > 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 > 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 > 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 > Grassland > Biomass burning (CO_2, CH_4, N_2O) > Land converted to grassland > Controlled burning > All [IPCC Software]	4(IV).C.2.a	4.C.2	CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change
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 > 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 > 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

Sources and sinks reported elsewhere ("IE")				
GHG	Source/sink category	Allocation as per IPCC Guidelines	Allocation used by the Party	Explanation
				occurring in fact since 2002. Emissions are aggregated to respect confidentiality.
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 > 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 > 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 > Coking coal	Coking 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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) > Other (not specified elsewhere) > Mobile (please specify) > Other mobile (other) [IPCC Software 1.A.3.b, 1.A.4.c, 1.A.5.b.iii] > Liquid fuels	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 > 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 > 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: Addition of HCl to acetylene (2.B.8.g.ii) and co-process for the manufacture of 1,2-dichloroethane + vinyl monochloride (2.b.8.c). 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 > 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 > Industrial processes and product use > Chemical industry >	2.B.8.c	2.B.8.g.ii	There are two types of process for manufacturing vinyl chloride: Addition of HCl to acetylene (2.B.8.g.ii) and co-process for the manufacture of 1,2-

Sources and sinks reported elsewhere ("IE")				
GHG	**Source/sink category**	**Allocation as per IPCC Guidelines**	**Allocation used by the Party**	**Explanation**
	Petrochemical and carbon black production > Ethylene dichloride and vinyl chloride monomer			dichloroethane + vinyl monochloride (2.b.8.c). Both process emissions are estimated and reported in 2.B.8.g.ii as they are not determined independently.
CO_2	Sectors/Totals > Energy > Feedstocks, reductants and other non-energy use of fuels > Solid fuels > Primary fuels > Lignite	Lignite	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) > 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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) > 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 > 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 > 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 > 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 > 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: Addition of HCl to acetylene (2.B.8.g.ii) and co-process for the manufacture of 1,2-dichloroethane + vinyl monochloride (2.b.8.c). 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) > 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 > 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 > 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 > 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 > Land use, land-use change and forestry > Wetlands > Biomass burning (CO_2, CH_4, N_2O) > Land converted to	4(IV).D.2.a	4.D.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
	wetlands > Controlled burning > All [IPCC Software]			
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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Other (not specified elsewhere) > Mobile (please specify)			
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 > 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
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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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
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.

Sources and sinks reported elsewhere ("IE")				
GHG	**Source/sink category**	**Allocation as per IPCC Guidelines**	**Allocation used by the Party**	**Explanation**
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 > 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 > 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 > 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) > Other (not specified elsewhere) > Mobile (please specify)			
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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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 > 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: Addition of HCl to acetylene (2.B.8.g.ii) and co-process for the manufacture of 1,2-dichloroethane + vinyl monochloride (2.b.8.c). 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) > Other (not specified elsewhere) > Mobile (please specify) > Other mobile (other) [IPCC Software 1.A.3.b, 1.A.4.c, 1.A.5.b.iii] > Liquid fuels	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 > 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 > Industrial processes and product use > Chemical industry > Petrochemical and carbon black production >	2.B.8.c	2.B.8.g.ii	There are two types of process for manufacturing vinyl chloride: Addition of HCl to acetylene (2.B.8.g.ii) and co-process for the manufacture of 1,2-dichloroethane + vinyl monochloride (2.b.8.c). Both process emissions are

Sources and sinks reported elsewhere ("IE")				
GHG	**Source/sink category**	**Allocation as per IPCC Guidelines**	**Allocation used by the Party**	**Explanation**
	Ethylene dichloride and vinyl chloride monomer			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.
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) > 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.
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 > 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) > Other (not specified elsewhere) > Mobile (please specify) > Other mobile (other) [IPCC Software 1.A.3.b, 1.A.4.c, 1.A.5.b.iii] > Liquid fuels	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 > 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 which include poultry manure and accumulated litter, because these are the main types of manure likely to undergo composting.
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 > 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 > 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) > 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) > 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 > 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 > 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) > 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.
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.

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 > 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) > 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
N_2O	Sectors/Totals > Energy > Fuel combustion activities (sectoral approach) > Other (not specified elsewhere) > Mobile (please specify)			
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, 2023 et 2024 pour des résultats résumés, les autres années sont disponibles sur les fichiers informatiques.*

Pour rappel, la France est soumise à des exigences de rapportage à deux niveaux :

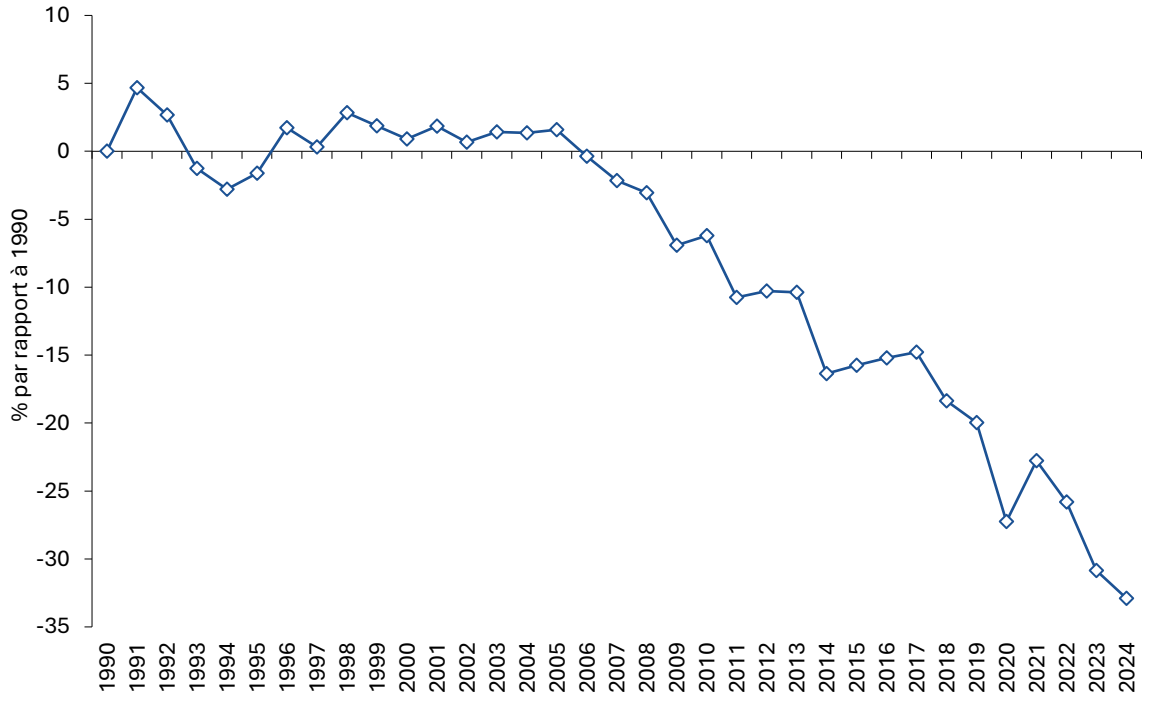
- Au niveau européen – dans le cadre du règlement (UE) 2018/1999 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat (dit règlement « Gouvernance »), la France rapporte son inventaire d'émissions de GES selon le périmètre « France UE », i.e. France hexagonale et territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE comprenant la Guadeloupe, la Martinique, la Guyane, La Réunion, Mayotte depuis 2014 et Saint-Martin.
- Au niveau international – en tant que signataire de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), et de l'accord de Paris, la France rapporte son inventaire cette fois-ci selon le périmètre France entière, i.e. France hexagonale ainsi que l'ensemble des territoires français situés Outre-mer.

Cette section présente, entre autres, les principales évolutions suivant ces deux périmètres.

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 32,9 % des émissions (hors UTCATF) en 2024 comparé au niveau de 1990. Les émissions totales exprimées en CO_2 équivalent, UTCATF inclus, sont en baisse de 37,4 % de 1990 à 2024. Une réduction encore plus notable est observée lorsque les émissions totales, UTCATF inclus, sont rapportées à la population (-46,8 %) ou au Produit Intérieur Brut (-77,6 %). 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 a été atteint pour cette année. Il faut noter que cette année 2024 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, le redressement rapide de la production nucléaire (2022 avait été marquée par une indisponibilité de nombreuses tranches nucléaires et 2023 par une reprise progressive), etc.

Figure 8 : Variations des émissions totales hors UTCATF au cours de la période 1990-2024 en France (Périmètre France UE)

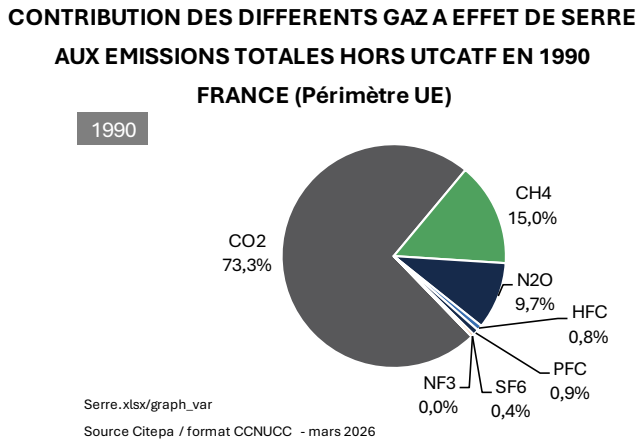


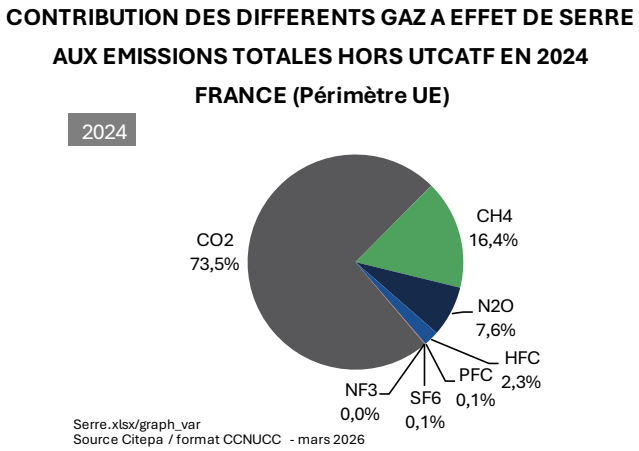
Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

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 2024 :

Figure 9 : Contribution des différents gaz à effet de serre aux émissions totales hors UTCATF en 1990 et 2024 pour la France (périmètre France UE)





La contribution du CO_2 aux émissions totales hors UTCATF en relatif a augmenté entre 1990 et 2024, 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 2024, le CO_2 participe à hauteur de 73,5 % aux émissions totales hors UTCATF devant le CH_4 avec 16,4 %, puis le N_2O avec 7,6 %. 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 2026 serre/recap_Fr_UE.xlsx

Substance	Unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart (%) 2024/90
Gaz à effet de serre direct													
CO_2 (direct et	Mt	401	394	416	426	388	342	291	317	304	279	270	-33%
Hors UTCATF	Mt éq. C[c]	109	108	113	116	106	93	79	86	83	76	74	-33%
CO_2 (direct et indirect)	Mt	372	357	379	363	340	295	241	275	265	238	227	-39%
net[a]	Mt éq. C[c]	101	97	103	99	93	81	66	75	72	65	62	-39%
CH_4	kt	2 926	2 955	2 908	2 732	2 672	2 418	2 298	2 252	2 207	2 180	2 152	-26%
Hors UTCATF	Mt CO_2e	82	83	81	76	75	68	64	63	62	61	60	-26%
	Mt éq. C[c]	22	23	22	21	20	18	18	17	17	17	16	-26%
CH_4	kt	2 950	3 083	2 955	2 763	2 702	2 447	2 326	2 280	2 239	2 208	2 179	-26%
net[a]	Mt CO_2e	83	86	83	77	76	69	65	64	63	62	61	-26%
	Mt éq. C[c]	23	24	23	21	21	19	18	17	17	17	17	-26%
N_2O	kt	201	205	164	141	120	120	111	114	108	106	105	-48%
Hors UTCATF	Mt CO_2e	53	54	44	37	32	32	29	30	29	28	28	-48%
	Mt éq. C[c]	14,5	14,8	11,9	10,2	8,7	8,7	8,0	8,2	7,8	7,7	7,6	-48%
N_2O	kt	209	211	169	146	126	124	114	117	111	110	108	-48%
net[a]	Mt CO_2e	55	56	45	39	33	33	30	31	30	29	29	-48%
	Mt éq. C[c]	15	15	12	11	9,1	9,0	8,3	8,5	8,0	7,9	7,8	-48%
HFC	t	659	816	3 235	6 248	8 357	8 874	6 248	5 898	5 617	5 312	4 938	650%
	Mt CO_2e	4,2	1,6	6,0	12,5	17,0	18,1	12,3	11,2	10,3	9,4	8,5	102%
	Mt éq. C[c]	1,2	0,4	1,6	3,4	4,6	4,9	3,4	3,1	2,8	2,6	2,3	102%
PFC	t	588	357	346	204	68	59	60	50	41	29	29	-95%
	Mt CO_2e	4,7	2,8	2,7	1,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	-95%
	Mt éq. C[c]	1,3	0,8	0,7	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-95%
SF_6	t	95	108	96	60	41	27	22	23	20	16	12	-87%
	Mt CO_2e	2,2	2,5	2,3	1,4	1,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	-87%
	Mt éq. C[c]	0,6	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-87%
NF_3	t	1,0	0,4	1,2	1,8	1,9	0,4	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	-29%
	Mt CO_2e	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-29%
	Mt éq. C[c]	0,004	0,002	0,005	0,008	0,008	0,002	0,002	0,003	0,004	0,003	0,003	-29%
CO_2e[b]	Mt CO_2e	547	538	552	556	513	461	398	422	406	378	367	-33%
Hors UTCATF	Mt éq. C[c]	149	147	151	152	140	126	109	115	111	103	100	-33%
CO_2e net[b]	Mt CO_2e	521	506	518	495	467	416	350	382	368	339	326	-37%
	Mt éq. C[c]	142	138	141	135	127	113	96	104	100	92	89	-37%
	kg CO_2e/hab.	8 943	8 498	8 505	7 838	7 185	6 249	5 183	5 632	5 397	4 959	4 754	-47%
	kg C/hab.[c]	2 439	2 318	2 320	2 138	1 960	1 704	1 414	1 536	1 472	1 352	1 296	-47%
	g CO_2e/€ PIB	499	417	351	281	234	189	151	152	139	120	112	-78%
	g C /€ PIB[c]	136	114	96	77	64	52	41	42	38	33	30	-78%
Gaz à effet de serre indirect													
SO_2 net[a]	kt	1 348	993	668	500	296	174	100	108	101	89	80	-94%
NOx net[a]	kt	2 169	1 967	1 819	1 647	1 297	1 094	787	825	782	714	682	-69%
hors UTCATF	kt	2 159	1 958	1 811	1 639	1 290	1 086	780	817	772	706	675	-69%
COVNM net[a]	kt	4 077	3 698	3 320	3 061	2 637	2 584	2 512	2 313	2 710	2 556	2 330	-43%
hors UTCATF	kt	2 925	2 497	2 142	1 788	1 485	1 271	1 151	1 131	1 126	1 085	1 054	-64%
CO net[a]	kt	10 848	9 084	6 846	5 888	4 915	3 336	2 700	2 979	2 813	2 535	2 515	-77%
hors UTCATF	kt	10 480	8 775	6 550	5 608	4 636	3 072	2 429	2 705	2 450	2 266	2 258	-78%

(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 (G

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 hexagonale 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	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart (%) 2024/90
Population[e]	milliers	58 248	59 519	60 890	63 159	65 004	66 542	67 592	67 899	68 177	68 362	68 543	18%
PIB[e]	milliards € courants	1 044	1 214	1 474	1 762	1 996	2 201	2 318	2 508	2 654	2 827	2 920	180%

(e) source INSEE

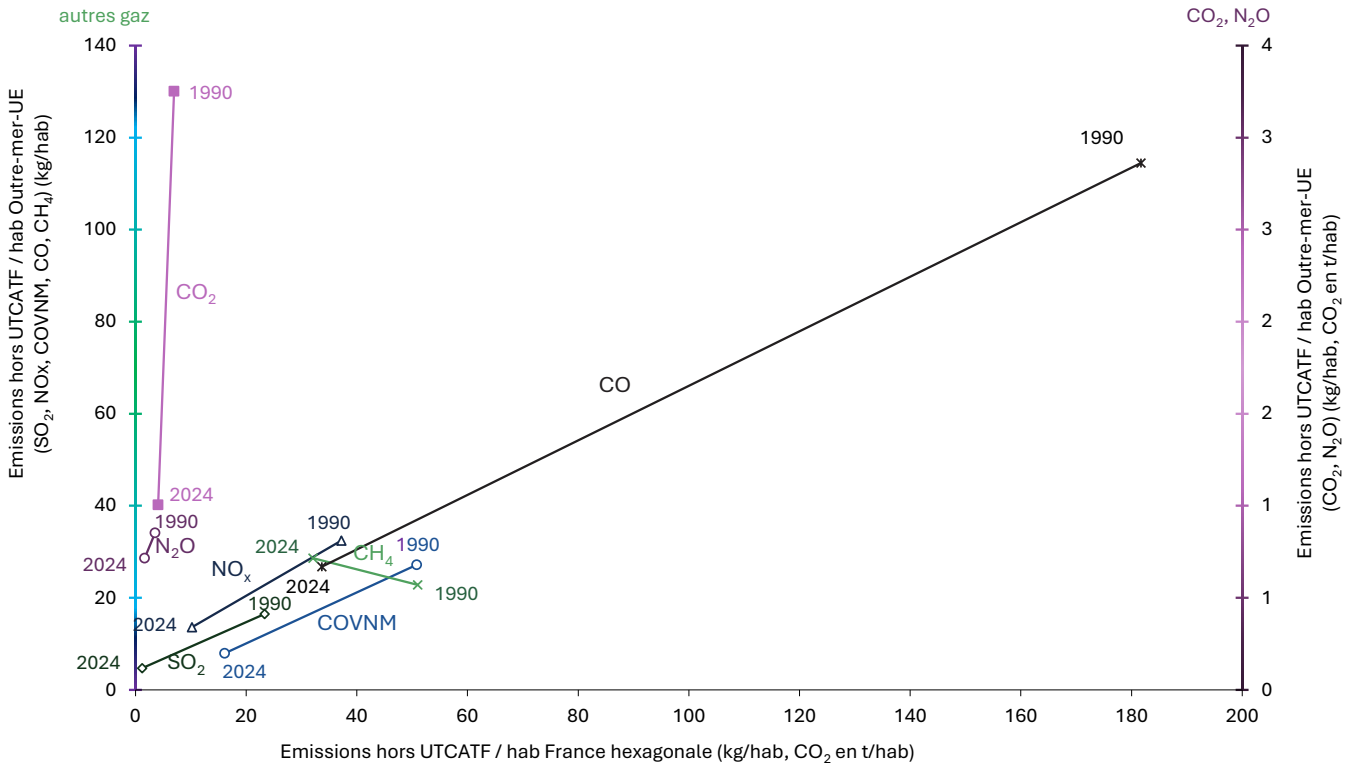
2.1.2 Particularités des émissions de la France hexagonale et des territoires Outre-mer inclus dans l'UE

La France, au périmètre dit « France UE », est constituée de deux entités : la France hexagonale 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 (hors UTCATF), les observations suivantes sont faites pour les années 1990 et 2024 :

- En 2024, les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE émettent 11,1 Mt CO_2e soit 3,0 % du total des émissions du périmètre France UE, pour respectivement 6,3 Mt CO_2e et 1,2 % en 1990.
- Une nette augmentation des émissions de CO_2 dans les territoires Outre-mer UE est observée au cours de la période 1990-2024 (+71 % d'émission de CO_2, soit une hausse de 3,6 Mt). Les émissions totales en CO_2e sur cette même période sont donc en hausse de 75 % pour l'Outre-mer UE alors qu'en France hexagonale, les émissions sont en baisse de 34 %. Il convient toutefois de noter que les émissions de CO_2 des PTOM ont enregistré une forte baisse entre 2023 et 2024, due à la conversion de centrales au charbon en unités à pellets et de centrales au fioul lourd en installations au bioéthanol.

Figure 10 : Évolution des émissions hors UTCATF par habitant entre 1990 et 2024 (périmètre France UE)



Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

Serre.xlsx/graph_var

Cet accroissement important des émissions des territoires Outre-mer UE comparé à l'évolution de la France hexagonale 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, en 1990 les émissions s'élevaient à 3,3 tonnes de CO_2 par habitant en Outre-mer, contre 7,0 tonnes de CO_2/hab en France hexagonale. En 2023, elles atteignaient 5,4 tonnes par habitant en Outre-Mer contre 4,1 en France hexagonale. 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. Cependant, en 2024, la tendance s'inverse nettement : les émissions chutent à 1,0

tCO_2/hab, en raison notamment de la conversion de centrales au charbon en unités à pellets et de centrales au fioul lourd en installations au bioéthanol.

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 2024, similaire à celle de la France hexagonale 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 (22,8 kg/hab en 1990 contre 28,6 en 2024), contrairement à celles de la France hexagonale qui ont chuté de 51,0 kg/hab en 1990 à 32,1 kg/hab en 2024, 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 France hexagonale (le total Outre-mer est relativement faible avec 0,7 kg/hab en 2024).

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 32,4 % des émissions totales exprimées en CO_2 équivalent (hors UTCATF) en 2024 comparées au niveau de 1990. Les émissions totales, UTCATF inclus, sont en baisse de 36,6 % de 1990 à 2024.

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 2026 serre/recap_France.xlsx

Substance	Unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart (%) 2024/90
Gaz à effet de serre direct													
CO_2 (direct et indirect)	Mt	403	397	419	430	393	348	297	323	311	285	274	-32%
Hors UTCATF	Mt éq. C[c]	110	108	114	117	107	95	81	88	85	78	75	-32%
CO_2 (direct et indirect)	Mt	374	360	382	367	344	302	247	281	270	246	233	-38%
net[a]	Mt éq. C[c]	102	98	104	100	94	82	67	77	74	67	63	-38%
CH_4	kt	2 943	2 972	2 925	2 749	2 691	2 440	2 320	2 273	2 229	2 201	2 173	-26%
Hors UTCATF	Mt CO_2e	82	83	82	77	75	68	65	64	62	62	61	-26%
	Mt éq. C[c]	22	23	22	21	21	19	18	17	17	17	17	-26%
CH_4	kt	2 969	3 103	2 973	2 783	2 722	2 471	2 349	2 304	2 261	2 233	2 204	-26%
net[a]	Mt CO_2e	83	87	83	78	76	69	66	65	63	63	62	-26%
	Mt éq. C[c]	23	24	23	21	21	19	18	18	17	17	17	-26%
N_2O	kt	201	205	165	142	121	121	112	114	108	107	106	-48%
Hors UTCATF	Mt CO2e	53	54	44	38	32	32	30	30	29	28	28	-48%
	Mt éq. C[c]	14,6	14,8	11,9	10,3	8,7	8,7	8,1	8,3	7,8	7,7	7,6	-48%
N_2O	kt	209	212	170	147	126	125	115	118	112	111	109	-48%
net[a]	Mt CO_2e	55	56	45	39	33	33	30	31	30	29	29	-48%
	Mt éq. C[c]	15	15	12	11	9,1	9,0	8,3	8,5	8,1	8,0	7,9	-48%
HFC	Mt CO_2e	4,2	1,6	6,0	12,5	17,1	18,2	12,5	11,4	10,5	9,7	8,8	108%
	Mt éq. C[c]	1,2	0,4	1,6	3,4	4,7	5,0	3,4	3,1	2,9	2,6	2,4	108%
PFC	Mt CO_2e	4,7	2,8	2,7	1,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	-95%
	Mt éq. C[c]	1,3	0,8	0,7	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-95%
SF_6	t	95	108	96	60	42	27	22	23	20	16	12	-87%
	Mt CO_2e	2,2	2,5	2,3	1,4	1,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	-87%
	Mt éq. C[c]	0,6	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-87%
NF_3	t	1,0	0,4	1,2	1,8	1,9	0,4	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	-29%
	Mt CO_2e	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-29%
	Mt éq. C[c]	0,004	0,002	0,005	0,008	0,008	0,002	0,002	0,003	0,004	0,003	0,003	-29%
CO_2e[b]	Mt CO_2e	550	542	556	560	519	468	405	429	413	386	372	-32%
Hors UTCATF	Mt éq. C[c]	150	148	152	153	141	128	111	117	113	105	101	-32%
CO_2e net[b]	Mt CO_2e	524	510	521	500	472	423	357	389	374	348	333	-37%
	Mt éq. C[c]	143	139	142	136	129	115	97	106	102	95	91	-37%
	kg CO_2e/hab.	8 941	8 504	8 490	7 850	7 207	6 306	5 238	5 687	5 446	5 049	4 811	-46%
	kg C/hab.[c]	2 438	2 319	2 316	2 141	1 965	1 720	1 429	1 551	1 485	1 377	1 312	-46%
	g CO_2e/€ PIB	500	418	352	282	235	191	153	154	140	122	113	-77%
	g C /€ PIB[c]	136	114	96	77	64	52	42	42	38	33	31	-77%
Gaz à effet de serre indirect													
SO_2 net[a]	kt	1 366	1 016	687	519	314	197	125	127	122	109	90	-93%
NOx net[a]	kt	2 191	1 988	1 841	1 673	1 321	1 119	810	848	804	738	703	-68%
hors UTCATF	kt	2 178	1 977	1 832	1 663	1 311	1 109	801	838	793	728	692	-68%
COVNM net[a]	kt	4 090	3 710	3 329	3 069	2 644	2 591	2 517	2 320	2 716	2 562	2 337	-43%
hors UTCATF	kt	2 936	2 508	2 151	1 795	1 491	1 277	1 156	1 136	1 132	1 090	1 059	-64%
CO net[a]	kt	10 944	9 174	6 875	5 953	4 961	3 401	2 727	3 046	2 827	2 613	2 597	-76%
hors UTCATF	kt	10 520	8 809	6 574	5 624	4 646	3 080	2 435	2 711	2 455	2 271	2 262	-78%

(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 (GI

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 hexagonale et Outre-mer périmètre France entière (territoires inclus dans l'UE, St-Barthélémy, Polynésie française, Nouvelle-Calédc

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

Indicateur	Unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart (%) 2024/90
Population[e]	milliers	58 636	59 951	61 362	63 671	65 548	67 110	68 168	68 476	68 753	68 937	69 117	18%
PIB[e]	milliards € courants	1 049	1 220	1 481	1 772	2 008	2 214	2 332	2 523	2 669	2 842	2 935	180%

(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 1990-2024. 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 32,6 % sur la période 1990-2024. Cette évolution est de -38,9 % 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 2024, presque 89,4 % des émissions de CO_2 hors UTCATF lui sont imputables. Le transport contribue à 45,0 % 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 12,9 % et 10,5 % respectivement. Tous les secteurs de l'énergie sont en baisse sur la période 1990 – 2024. La réduction exceptionnelle des émissions du transport qui avait été observée en 2020 (-10,4 % par rapport à 1990, en raison de la crise sanitaire) ne s'est pas maintenue, avec un rebond de près de 12 % entre 2020 et 2023. Toutefois, en 2024, les niveaux restent inférieurs à ceux d'avant la crise (-6,9 % par rapport à 2019) et affichent même une nouvelle diminution de 1,1 % par rapport à 2023, ce qui correspond à une baisse de 0.7% par rapport à 1990. Les autres secteurs connaissent des baisses continues et plus significatives des émissions entre 2024 et 1990 (-57 % pour l'industrie de l'énergie, -46 % pour la combustion dans l'industrie manufacturière, -41 % pour le résidentiel/tertiaire/agriculture et -53 % pour le reste (1A5)).

Au périmètre Convention, les émissions de CO_2 sont en baisse de 32,1 % sur la période 1990-2024 hors UTCATF et de 37,9 % 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.

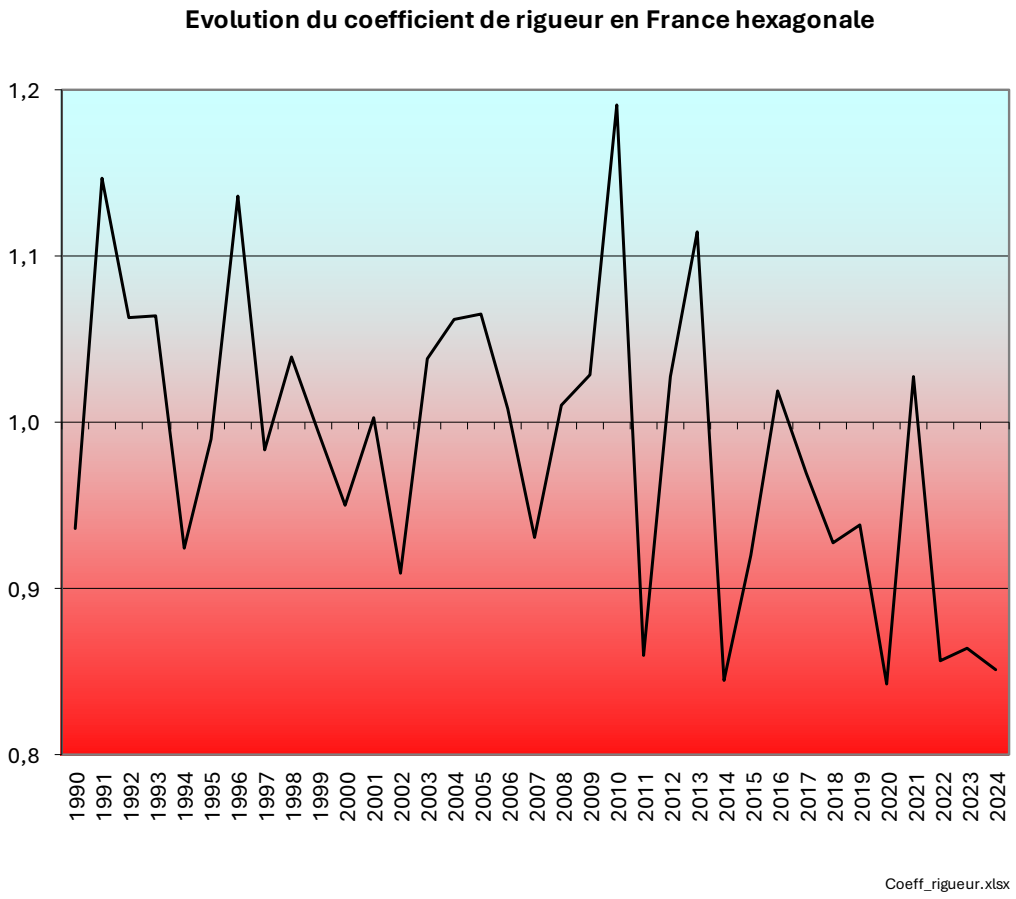
Le coefficient de rigueur de l'année 2024 est de 0,85, valeur proche bien inférieure à la moyenne de la période 1990-2024 qui est de 0,99 (cf. figure et tableau ci-après). L'année 2024 constitue l'une des années les plus chaudes observées depuis 1990, se rapprochant du niveau des années 2014 et 2020. Pour rappel, l'année 2020 avait été l'année la plus douce enregistrée sur 1990-2024, avec un minimum du coefficient de rigueur à 0,842. 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 des émissions de CO_2 a de nouveau été observée pour ce secteur en 2024 (-0,8 % comparativement à 2023, mais aussi -21,1 % 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 2024, la consommation de combustibles de ce secteur est la plus faible observée depuis 1990, et 0,6 % en dessous du niveau de 2023. L'année 2023 représente la deuxième consommation totale la plus faible observée sur la période, avec un des coefficients de rigueur les plus bas (0,86). 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, sur la période 1990-2024, la production électrique française hexagonale est composée entre 86,1 % et 94,2 % par des filières dites "non carbonées", majoritairement nucléaire (63,9 % à 79,1 %) 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 85,1 % et 93,0 % sur la période 2011-2024.

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%, puis une nouvelle augmentation de 12% en 2024, revenant au niveau de 2019. La filière hydraulique, éolien et photovoltaïque est elle aussi en augmentation, avec +11 % entre 2023 et 2024.

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 (France hexagonale)

Période 1990 - 2024 (moyenne trentenaire 1991 - 2020)	
1990	0,94
1991	1,15
1992	1,06
1993	1,06
1994	0,92
1995	0,99
1996	1,14
1997	0,98
1998	1,04
1999	0,99
2000	0,95
2001	1,00
2002	0,91
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	1,11
2014	0,84
2015	0,92
2016	1,02
2017	0,97
2018	0,93
2019	0,94
2020	0,84
2021	1,03
2022	0,86
2023	0,86
2024	0,85



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 8,7 % des émissions de CO_2 hors UTCATF en 2024.

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 -28,8 Mt en 1990 à -48,2 en 2010 et -42,8 Mt en 2024. La baisse du puits en 2000 est liée aux tempêtes de 1999. En 2009, le puits régresse également du fait de la tempête Klaus en début d'année.

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 1990-2024 (-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 71,4 % des émissions hors UTCATF en 2024, et enregistre une baisse depuis 1990 de 20,0 %, 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 (5,2 % du total des émissions de CH_4 hors UTCATF en 2023, mais 17,1 % 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 (23,4 % du total hors UTCATF en 2024), enregistre quant à lui une légère hausse (+1,0 %) de ses émissions en 2024 par rapport à 1990, principalement due à l'augmentation des activités du traitement des eaux et rejets (5D, +46 % 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 8,3 % 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 26,5 % 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 77 % des émissions de N_2O hors UTCATF en 2024. Les émissions de ce secteur ont toutefois diminué de 19 % entre 1990 et 2024.

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 -48 % hors UTCATF en 2024 par rapport à 1990.

La baisse conséquente des émissions des procédés de l'industrie (39,3 % des émissions totales de N_2O hors UTCATF en 1990 contre 1,2 % en 2024, soit une chute de 98% de ses émissions) explique entre autres la contribution croissante du secteur de l'énergie qui passe de moins de 6 % en 1990 à un peu plus de 12 % en 2024.

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 2024 suite à l'utilisation de ces produits en substitution aux CFC et HCFC (environ +645 % en masse). Toutefois, l'effet de structure des différentes molécules émises conduit à un accroissement plus limité en CO_2e (+102 %). De 1995 à 2012, les émissions de HFC (en CO_2e) ont augmenté chaque année, mais une baisse est à noter depuis 2013 (-53 % de baisse en CO_2e en 2024 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_2e réduites de 98 % et 95 %, respectivement, au cours de la période 1990 – 2024.

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_2e, 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 2024 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 2024 fait apparaître une baisse de 87 % par rapport à 1990. Les émissions de 2024 sont en baisse (-25 %) comparativement à 2023.

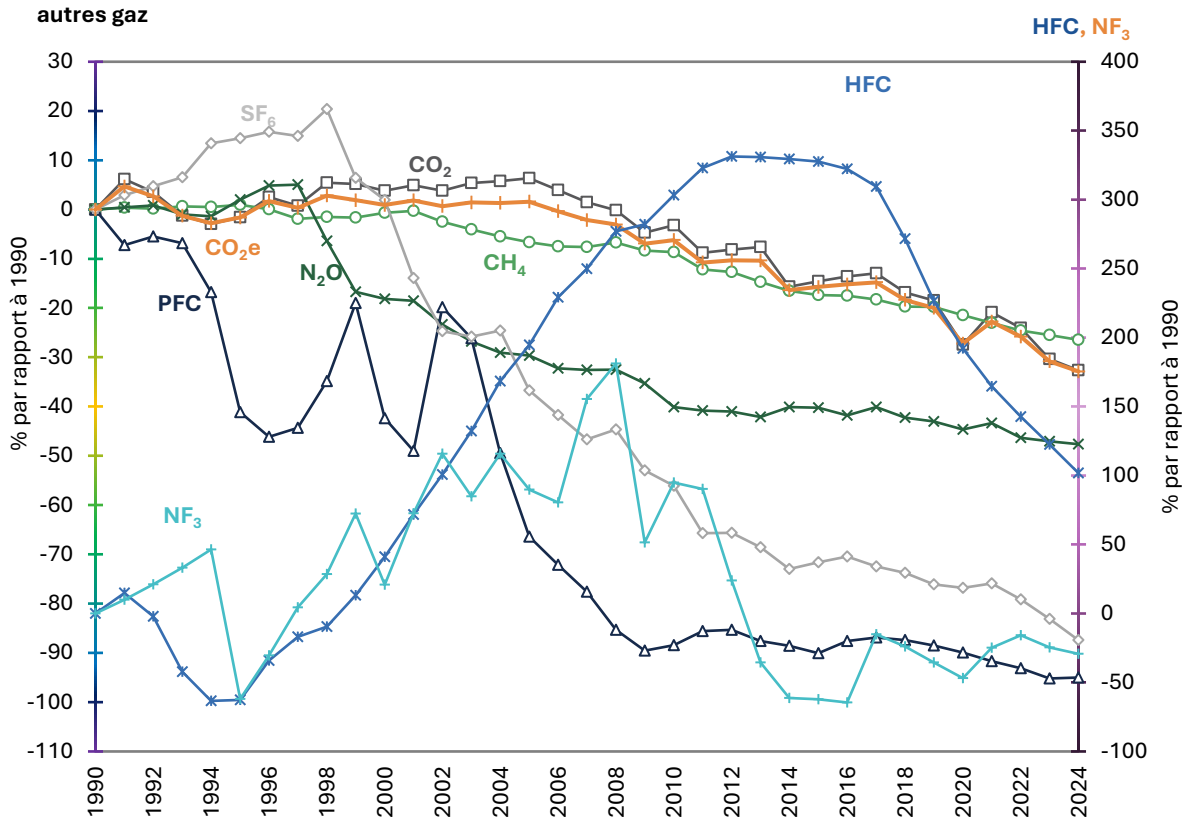
Pour le SF_6, l'analyse au périmètre de la Convention est identique. Les émissions des territoires hors UE influent peu sur les résultats globaux.

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 2000, les émissions fluctuent et évoluent annuellement en fonction des consommations et de l'efficacité des systèmes de traitement. La situation observée en 2024 fait apparaître une baisse de -29 % par rapport à 1990, et également comparativement à 2023 (-6,3 %).

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 1990-2024 en France (périmètre France UE)



Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

Serre.xlsx/graph_var

Tableau 17 : Émissions détaillées des HFC et PFC en France (Périmètre France UE)

EMISSIONS DETAILLEES DES HFC ET PFC EN FRANCE (périmètre 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 2026 — serre/HFC_PFC.xlsx

Substances	Unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart (%) 2024/90
HFC																					
HFC-23	t	142	19	32	35	12	7,5	8,0	9,1	9,0	9,1	14	17	7,8	5,6	4,4	1,3	1,0	0,9	0,7	-100%
HFC-32	t	NO	2,1	12	127	353	390	422	461	509	555	599	638	683	727	769	833	940	1 054	1 143	-
HFC-4310mee	t	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
HFC-125	t	8,6	62	202	804	1 383	1 473	1 527	1 560	1 588	1 616	1 623	1 597	1 542	1 436	1 314	1 207	1 123	1 042	967	11181%
HFC-134a	t	IE,NO	659	2 656	3 989	4 803	4 951	4 957	4 945	4 949	4 909	4 901	4 755	4 110	3 442	3 129	2 935	2 742	2 545	2 267	-
HFC-152a	t	NO	NO	NO	319	362	380	381	297	269	233	202	201	190	156	120	134	134	88	45	-
HFC-143a	t	508	50	284	801	1 151	1 198	1 212	1 189	1 163	1 135	1 084	1 014	911	779	653	536	437	355	289	-43%
HFC-227ea	t	NO	1,2	17	40	65	74	77	78	77	80	79	76	73	68	67	64	63	61	58	-
HFC-365mfc	t	NO	NO	6,4	25	91	109	114	116	143	155	154	146	162	129	92	89	84	63	63	-
HFC-245fa	t	NO	NO	1,0	10	27	33	39	40	45	67	92	114	115	95	69	70	68	76	73	-
HFC-mix[a] (kt CO_2e)	kt CO_2e	0	36	40	141	145	241	305	271	194	142	63	63	47	36	32	31	26	26	29	-
total HFC hors HFC-mix	**t**	**659**	**794**	**3 211**	**6 152**	**8 247**	**8 617**	**8 737**	**8 695**	**8 752**	**8 759**	**8 746**	**8 556**	**7 793**	**6 840**	**6 217**	**5 868**	**5 592**	**5 285**	**4 907**	**645%**
PFC																					
PFC-14	t	391	242	238	131	20	26	22	16	15	11	18	12	14	14	13	9,0	8,3	6,1	6	-98%
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	1,9	3	-98%
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	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	0	-99%
PFC-mix[b] (kt CO_2e)	kt CO_2e	206	295	130	273	326	408	453	420	382	344	392	472	455	400	347	294	223	162	155	-25%
total PFC hors PFC-mix	**t**	**562**	**321**	**329**	**170**	**27**	**35**	**30**	**21**	**20**	**16**	**24**	**18**	**18**	**18**	**16**	**12**	**12**	**8,1**	**10**	**-98%**
Total																					
Substances	**Unité**	**1990**	**1995**	**2000**	**2005**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**Ecart (%) 2024/90**
total HFC (kt CO_2e)	kt CO_2e	4 226	1 577	5 964	12 456	17 044	17 874	18 226	18 206	18 151	18 067	17 848	17 307	15 709	13 801	12 348	11 189	10 255	9 398	8 527	102%
total PFC (kt CO_2e)	kt CO_2e	4 685	2 757	2 700	1 573	540	676	688	582	535	465	580	613	590	538	472	390	323	224	234	-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 hexagonale 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 - 2024 (-94 % pour le SO_2, -77 % pour le CO, -43 % pour les COVNM et -69 % pour les NO_x).

Le rejet de 80 kt de SO_2 en 2024 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 (+ 7,7 % 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 2024 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]. En janvier 2026, cet objectif est revu à la hausse à horizon 2030, et les PTOM visent désormais une baisse de leurs émissions brutes de GES à l'échelle de l'économie de -43 % en 2030 par rapport à 2016. Un nouvel objectif est également défini à horizon 2035, avec une réduction des émissions brutes de GES de -62 % en 2035 par rapport à 2016.[13]

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 45 % des émissions totales exprimées en CO_2e hors UTCATF en 2024, et, une hausse de 93 % avec UTCATF. Par rapport à l'année de référence spécifique au PTOM, 2016, les émissions totales hors UTCATF sont en baisse de 37 % en 2024 et en baisse de 19 % avec UTCATF.

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

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

[13] Cf. 20250106-Composante-PTOM-CDN-FR_vF.pdf

EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE PTOM (Outre-mer hors 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 2026 — serre/recap_Fr_UE.xlsx

Substance	Unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart (%) 2024/90
Gaz à effet de serre direct																	
CO_2 (direct et	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	3.9	53%
Hors UTCATF	Mt éq. C[c]	0.7	0.9	0.9	1.1	1.3	1.7	1.9	1.9	2.0	1.9	1.8	1.6	1.7	1.7	1.1	53%
CO_2 (direct et indirect)	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	4.4	68%
net[a]	Mt éq. C[c]	0.7	0.9	0.7	1.1	1.2	1.7	2.0	2.4	1.9	2.4	1.6	1.6	1.5	1.9	1.2	68%
CH_4	kt	16.7	17.2	17.6	17.7	18.8	21.2	21.1	20.9	20.9	21.5	21.3	21.1	21.4	21.4	21.2	27%
Hors UTCATF	Mt CO_2e	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	27%
	Mt éq. C[c]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	27%
CH_4	kt	19.2	19.8	17.8	20.0	20.4	23.9	23.9	27.2	22.7	28.1	22.3	24.0	21.7	24.7	24.7	28%
net[a]	Mt CO_2e	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.8	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	28%
	Mt éq. C[c]	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	28%
N_2O	kt	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-12%
Hors UTCATF	Mt CO_2e	0.2	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	-12%
	Mt éq. C[c]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-12%
N_2O	kt	0.7	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.9	0.6	0.9	0.6	0.7	0.5	0.7	0.7	-1.9%
net[a]	Mt CO_2e	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	-1.9%
	Mt éq. C[c]	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	-1.9%
HFC	Mt CO_2e	0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	NA
	Mt éq. C[c]	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	NA
PFC	Mt CO_2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
	Mt éq. C[c]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
SF_6	t	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	-81%
	Mt CO_2e	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-81%
	Mt éq. C[c]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-81%
NF_3	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
	Mt CO_2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
	Mt éq. C[c]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
CO_2e[b]	Mt CO_2e	3.5	4.2	4.4	5.1	5.8	7.4	8.1	8.2	8.5	8.3	7.6	7.0	7.5	7.6	5.1	45%
Hors UTCATF	Mt éq. C[c]	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	2.0	2.2	2.2	2.3	2.3	2.1	1.9	2.1	2.1	1.4	45%
CO_2e net[b]	Mt CO_2e	3.4	4.1	3.2	4.8	5.4	7.4	8.2	9.9	8.1	10.2	6.8	7.1	6.5	7.9	5.5	60%
	Mt éq. C[c]	0.9	1.1	0.9	1.3	1.5	2.0	2.2	2.7	2.2	2.8	1.9	1.9	1.8	2.2	1.5	60%
	kg CO_2e/hab.	8 882	9 487	6 833	9 405	9 884	13 039	14 341	17 314	14 019	17 628	11 804	12 274	11 233	13 800	9 582	7.9%
	kg C/hab.[c]	2 422	2 587	1 863	2 565	2 696	3 556	3 911	4 722	3 823	4 808	3 219	3 347	3 064	3 764	2 613	7.9%
	g CO_2e/€ PIB	663	655	404	478	446	569	622	728	580	727	494	487	419	501	376	-43%
	g C /€ PIB[c]	181	179	110	130	122	155	170	199	158	198	135	133	114	137	102	-43%
Gaz à effet de serre indirect																	
SO_2 net[a]	kt	18.0	22.2	19.1	19.4	18.3	22.4	25.5	26.7	26.8	27.0	24.1	18.8	20.9	19.8	9.8	-46%
NOx net[a]	kt	21.7	21.8	21.7	26.2	23.1	25.2	26.2	29.1	25.7	29.5	22.4	23.3	21.8	24.8	21.2	-2.3%
hors UTCATF	kt	19.2	19.4	21.4	24.0	21.5	22.7	23.6	23.0	24.0	23.2	21.5	20.6	21.4	21.6	17.8	-7.3%
COVNM net[a]	kt	12.8	11.9	9.3	8.4	6.7	6.6	6.6	8.1	6.4	8.3	5.8	6.2	5.7	6.8	6.4	-50%
hors UTCATF	kt	11.7	10.8	9.1	7.4	5.9	5.5	5.4	5.4	5.7	5.5	5.4	4.9	5.5	5.4	4.9	-58%
CO net[a]	kt	95.6	90.1	28.9	65.2	46.2	65.2	68.7	144.4	44.4	148.9	27.0	66.9	13.6	77.4	81.3	-15%
hors UTCATF	kt	39.4	34.0	23.4	15.3	10.2	8.2	8.2	7.5	7.1	6.5	5.8	5.5	5.4	5.4	4.7	-88%

(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) PTOM : Pays et territoires d'Outre-mer hors Union européenne (Nouvelle-Calédonie, Polynésie française, Saint-Pierre-et-Miquelon, Wallis-et-Futuna)

(*) 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	2024	Ecart (%) 2024/90
Population[e]	milliers	388	432	472	513	544	568	572	574	575	576	577	577	576	575	574	48%
PIB[e]	milliards € courants	5.2	6.3	8.0	10.1	12.1	13.0	13.2	13.6	13.9	14.0	13.8	14.6	15.4	15.8	14.7	182%

(e) source INSEE

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 2024.

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 1990-2024.

Tableau 19 : Contribution des catégories GIEC aux émissions de gaz à effet de serre hors UTCATF en France en 2024 (Périmètre France UE)

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

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 s_cle_hors_UTCATF.xlsx/secteurs

	CO_2 (Mt)	270
	Catégories GIEC	**%**
1A3	Transports (*)	44,8
1A4	Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture (a)	20,2
1A2	Combustion industrie manufacturière et construction	12,8
1A1	Combustion transformation d'énergie	10,5
2C	Procédés industrie métallurgique	3,3
2A	Procédés industriels - produits minéraux	2,9
2B	Procédés industrie chimique	2,3
	Autres sources	3,2

	CH_4 (kt)	2 152
	Catégories GIEC	**%**
3A	Fermentation entérique	60,7
5A	Stockage de déchets non dangereux	19,0
3B	Gestion des déjections animales	10,6
1A4	Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture	3,5
5D	Traitement des eaux usées	3,2
	Autres sources	3,1

	N_2O (kt)	105
	Catégories GIEC	**%**
3D1	Emissions directes des sols agricoles	51,6
3D2	Emissions indirectes des sols agricoles	15,8
3B	Gestion des déjections animales	9,8
5D	Traitement des eaux usées	8,6
1A4	Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture	4,5
1A3	Transports (*)	4,2
1A2	Combustion industrie manufacturière et construction	2,7
	Autres sources	2,8

	PFC (kt équivalent CO_2)	234
	Catégories GIEC	**%**
2G	Autre utilisation de PFC dans l'industrie manufacturière	66,4
2E	Procédés industrie électronique	20,6
2C	Procédés industrie métallurgique	13,0

	SF_6 (kt)	0,01
	Catégories GIEC	**%**
2G	Autre utilisation de SF6 dans l'industrie manufacturière	78,5
2B	Procédés industrie chimique	20,1
	Autres sources	1,4

	HFC (kt équivalent CO_2)	8 527
	Catégories GIEC	**%**
2F	Utilisation des HFC	99,8
	Autres sources	0,2

	NF_3 (kt)	0,0007
	Catégories GIEC	**%**
2E	Procédés industrie électronique	100

	CO_2e sur 7 gaz : CO_2, CH_4, N_2O, HFC, PFC, SF_6, NF_3 (Mt équiv. CO_2) (b)	367
	Catégories GIEC	**%**
1A3	Transports (*)	33,3
1A4	Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture (a)	15,8
3A	Fermentation entérique	10,0
1A2	Combustion industrie manufacturière et construction	9,6
1A1	Combustion transformation d'énergie	7,8
3D1	Emissions directes des sols agricoles	5,1
5A	Stockage de déchets non dangereux	3,1
3B	Gestion des déjections animales	2,5
2C	Procédés industrie métallurgique	2,4
2F	Utilisation d'halocarbures	2,3
2A	Procédés industriels - produits minéraux	2,1
2B	Procédés industrie chimique	1,7
	Autres sources	4,2

	NOx (kt)	675
	Catégories GIEC	**%**
1A3	Transports (*)	46,6
3D1	Emissions directes des sols agricoles	19,2
1A4	Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture	13,6
1A2	Combustion industrie manufacturière et construction	12,2
1A1	Combustion transformation d'énergie	5,7
	Autres sources	2,6

	CO (kt)	2 258
	Catégories GIEC	**%**
1A4	Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture	53,1
1A3	Transports (*)	15,1
2C	Procédés industrie métallurgique	13,5
1A2	Combustion industrie manufacturière et construction	13,0
5C	Incineration and open burning of waste	1,8
	Autres sources	3,6

	COVNM (kt)	1 054
	Catégories GIEC	**%**
3B	Gestion des déjections animales	20,6
2G	Autre utilisation de solvants dans l'industrie manufacturièr	19,4
1A4	Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture	18,4
3D1	Emissions directes des sols agricoles	17,6
2D	Utilisation non-énergétique de produits	10,5
1A3	Transports (*)	4,1
2H	Procédés industrie alimentaire	4,0
1B2	Extraction et distribution du pétrole et gaz naturel	1,9
	Autres sources	3,5

	SO_2 (kt)	80
	Catégories GIEC	**%**
1A2	Combustion industrie manufacturière et construction	41,8
1A1	Combustion transformation d'énergie	18,5
1B2	Extraction et distribution du pétrole et gaz naturel	11,5
1A4	Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture	10,7
2C	Procédés industrie métallurgique	7,9
1A3	Transports (*)	4,3
2B	Procédés industrie chimique	2,9
	Autres sources	2,3

(*) 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 2026 — serre/CO2.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart 2024/90 (%)
Total national (émissions directes nettes)	**370 191**	**355 128**	**377 761**	**362 185**	**338 534**	**294 375**	**304 314**	**311 984**	**282 779**	**280 166**	**240 665**	**274 606**	**263 907**	**237 286**	**226 267**	**-39%**
1 Energie	**352 351**	**350 242**	**370 515**	**381 096**	**350 333**	**306 790**	**310 480**	**311 822**	**296 709**	**291 028**	**259 476**	**281 905**	**272 190**	**250 453**	**242 143**	**-31%**
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	**347 990**	**345 821**	**366 218**	**377 087**	**346 111**	**303 844**	**307 522**	**308 920**	**293 712**	**288 440**	**257 272**	**280 150**	**270 552**	**248 831**	**240 629**	**-31%**
1 Industries de l'énergie	65 822	55 327	61 952	66 343	59 625	44 686	48 193	52 094	42 704	41 336	36 910	39 523	41 199	33 461	28 324	-57%
2 Industries manufacturières et construction	63 989	67 466	66 145	64 701	55 528	47 162	46 966	45 085	45 227	44 370	40 452	43 532	39 362	35 831	34 586	-46%
3 Transport	121 926	131 526	140 401	141 114	132 976	132 975	133 348	133 289	130 796	130 029	109 262	123 264	127 561	122 390	121 013	-1%
4 Autres secteurs	91 788	90 908	95 763	102 302	95 724	76 957	77 641	77 101	73 289	71 014	69 173	71 755	60 326	55 020	54 587	-41%
5 Autre	4 464	594	1 958	2 626	2 258	2 065	1 375	1 352	1 695	1 691	1 475	2 076	2 104	2 130	2 119	-53%
B Emissions fugitives des combustibles	**4 362**	**4 421**	**4 296**	**4 009**	**4 221**	**2 946**	**2 958**	**2 902**	**2 998**	**2 588**	**2 204**	**1 755**	**1 638**	**1 623**	**1 514**	**-65%**
2 Combustibles liquides et gazeux	4 362	4 421	4 296	4 009	4 221	2 946	2 958	2 902	2 998	2 588	2 204	1 755	1 638	1 623	1 514	-65%
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	**42 631**	**38 309**	**40 308**	**40 352**	**32 927**	**30 845**	**31 037**	**32 434**	**31 964**	**31 047**	**26 760**	**30 508**	**27 660**	**24 219**	**23 457**	**-45%**
A Produits minéraux	14 938	12 429	12 336	12 617	11 019	9 686	9 594	9 501	9 936	10 015	9 053	9 741	9 268	8 033	7 817	-48%
B Chimie	8 937	9 083	9 796	9 145	7 469	7 619	7 435	7 716	7 367	7 379	6 901	6 999	5 810	5 921	6 079	-32%
C Métallurgie	17 679	15 707	17 041	17 436	13 427	12 689	13 116	14 457	13 836	12 911	10 073	12 804	11 567	9 433	8 773	-50%
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants	1 047	1 047	1 113	1 097	975	829	873	731	807	738	729	951	1 007	830	786	-25%
G Autres fabrication et utilisations de produits	30	42	21	56	35	21	19	30	19	4.0	4.1	12.6	7.8	2.8	2.4	-92%
H Autre	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	0.07	50%
3 Agriculture	**1 905**	**1 984**	**1 984**	**1 968**	**1 911**	**2 163**	**2 165**	**2 077**	**2 199**	**2 098**	**2 151**	**2 056**	**2 075**	**2 213**	**2 243**	**18%**
G Chaulage	915	1 049	955	914	802	863	789	645	732	666	811	781	807	885	901	-1.6%
H Application d'urée	865	821	874	892	935	1 129	1 212	1 274	1 304	1 278	1 178	1 099	1 094	1 173	1 196	38%
I Autres engrais contenant du carbone	125	115	155	162	173	171	164	158	164	154	162	176	175	155	146	17%
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	**-28 806**	**-37 602**	**-36 738**	**-62 771**	**-48 239**	**-46 956**	**-40 910**	**-35 814**	**-49 517**	**-45 800**	**-49 318**	**-41 709**	**-39 647**	**-40 943**	**-42 811**	**49%**
A Terres forestières	-52 072	-60 348	-52 184	-75 200	-72 764	-68 284	-61 131	-56 105	-59 246	-65 205	-68 412	-60 614	-59 231	-62 956	-64 324	24%
B Terres cultivées	24 818	22 228	15 248	13 204	19 679	15 796	13 882	13 324	12 536	15 044	14 234	14 795	14 486	15 109	13 914	-44%
C Prairies	-4 587	-3 562	-1 858	-3 399	-262	-754	-464	585	-9 235	-2 608	-3 390	-1 762	-1 261	-1 333	-933	-80%
D Zones humides	745	898	881	699	869	1 016	1 137	1 110	1 078	1 168	1 153	1 154	1 171	1 164	1 167	57%
E Zones artificialisées	6 679	5 586	5 571	6 204	7 561	6 856	6 889	6 522	6 490	6 572	6 522	6 595	6 532	6 532	6 612	-1.0%
F Autres terres	279.0	277.7	280.8	260.7	259.0	269.0	271.8	276.2	278.7	310.7	322.3	333.6	342.7	348.1	354.9	27%
G Produits bois	-4 669	-3 899	-5 292	-4 850	-3 738	-1 935	-1 564	-1 586	-1 470	-1 127	214	-2 245	-1 717	167	374	-108%
H Autres	NA,NO	1 217	614	310	156	79	69	60	52	46	40	35	30	26	23	-
5 Déchets	**2 110**	**2 195**	**1 692**	**1 540**	**1 602**	**1 533**	**1 541**	**1 465**	**1 423**	**1 794**	**1 596**	**1 846**	**1 628**	**1 344**	**1 235**	**-41%**
C Incinération et brûlage de déchets	2 110	2 195	1 692	1 540	1 602	1 533	1 541	1 465	1 423	1 794	1 596	1 846	1 628	1 344	1 235	-41%
Memo																
Soutes internationales	**15 436**	**16 606**	**22 277**	**23 852**	**23 240**	**22 291**	**21 647**	**22 409**	**23 672**	**23 945**	**10 806**	**11 952**	**18 042**	**20 215**	**21 963**	**42%**
Aviation	9 354	11 165	14 655	16 040	16 258	17 559	17 264	17 545	18 171	19 076	8 187	8 971	14 277	16 575	17 976	92%
Marine	6 082	5 441	7 622	7 812	6 982	4 733	4 383	4 864	5 501	4 869	2 619	2 981	3 765	3 640	3 987	-34%
Opérations multilatérales	**0.7**	**1.3**	**2.0**	**1.1**	**1.3**	**1.7**	**1.8**	**1.6**	**1.6**	**1.1**	**0.8**	**0.9**	**0.8**	**0.5**	**0.3**	**-54%**
Emissions de CO_2 de la biomasse	**44 108**	**45 306**	**42 815**	**48 381**	**60 274**	**61 120**	**65 291**	**65 366**	**65 547**	**66 263**	**62 343**	**69 829**	**67 287**	**69 504**	**73 501**	**67%**
CO_2 indirect	**1 657**	**1 502**	**1 531**	**1 247**	**998**	**826**	**821**	**863**	**815**	**802**	**831**	**769**	**811**	**786**	**780**	**-53%**

(f) France hexagonale 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_2e)

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

serre/CH4.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart 2024/90 (%)
Total national (émissions nettes)	**82 594**	**86 329**	**82 740**	**77 372**	**75 648**	**68 507**	**68 431**	**67 803**	**66 599**	**66 545**	**65 140**	**63 841**	**62 703**	**61 823**	**61 016**	**-26%**
1 Energie	**13 985**	**13 352**	**9 062**	**6 914**	**6 095**	**4 658**	**4 854**	**4 555**	**4 314**	**4 153**	**3 630**	**3 980**	**3 495**	**3 319**	**3 115**	**-78%**
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	**6 580**	**6 017**	**5 102**	**4 886**	**4 375**	**3 304**	**3 474**	**3 280**	**3 098**	**3 028**	**2 682**	**3 051**	**2 616**	**2 509**	**2 408**	**-63%**
1 Industries de l'énergie	82	55	33	36	37	32	42	46	37	42	39	40	48	40	33	-60%
2 Industries manufacturières et construction	101	98	81	89	92	81	85	83	85	83	80	85	84	81	88	-12%
3 Transport	1 171	928	684	502	299	216	209	196	190	183	152	168	168	166	163	-86%
4 Autres secteurs	5 222	4 935	4 302	4 254	3 944	2 972	3 137	2 952	2 784	2 716	2 409	2 756	2 313	2 219	2 120	-59%
5 Autre	3.6	1.0	1.1	4.6	3.5	3.1	2.1	1.9	2.6	2.7	2.3	2.9	3.1	3.3	3.3	-10%
B Emissions fugitives des combustibles	**7 405**	**7 335**	**3 960**	**2 028**	**1 720**	**1 354**	**1 380**	**1 274**	**1 215**	**1 125**	**948**	**929**	**878**	**810**	**708**	**-90%**
1 Combustibles solides	5 387	5 519	2 270	436	59	17	18	19	20	13	22	10	12	13	18	-100%
2 Combustibles liquides et gazeux	2 017	1 816	1 691	1 592	1 661	1 337	1 362	1 256	1 195	1 112	926	919	866	797	689	-66%
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	**285**	**286**	**307**	**236**	**165**	**95**	**97**	**88**	**79**	**75**	**64**	**73**	**60**	**52**	**46**	**-84%**
B Chimie	125	142	157	110	89	53	49	47	42	39	35	34	35	31	28	-78%
C Métallurgie	157.8	142.3	149.4	125.5	75.2	41.8	48.2	41.1	37.1	35.8	28.7	38.7	24.7	20.4	18.2	-88%
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvant	1.8	1.5	1.1	0.9	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	-83%
3 Agriculture	**53 734**	**52 170**	**53 399**	**50 179**	**50 076**	**49 368**	**48 993**	**48 549**	**47 825**	**47 036**	**46 255**	**45 159**	**44 191**	**43 389**	**43 008**	**-20.0%**
A Fermentation entérique	46 779	44 933	45 466	42 112	41 973	41 613	41 316	40 945	40 307	39 656	39 004	38 091	37 382	36 885	36 545	-22%
B Gestion des déjections animales	6 800	7 051	7 758	7 929	7 974	7 664	7 592	7 516	7 450	7 306	7 183	7 008	6 751	6 444	6 398	-5.9%
C Rizières	76	107	90	83	80	55	57	58	46	52	51	44	42	43	48	-37%
F Incinération des résidus de culture	79	78	86	56	49	36	29	30	22	22	17	17	16	17	17	-79%
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	**654**	**3 596**	**1 326**	**881**	**828**	**790**	**808**	**818**	**797**	**801**	**783**	**789**	**896**	**784**	**769**	**18%**
A Terres forestières	169	84	93	92	62	60	72	78	52	74	63	64	175	58	50	-70%
B Terres cultivées	157	168	161	154	156	145	145	149	154	175	173	173	172	174	171	9.2%
C Prairies	246	248	230	224	273	261	267	270	271	231	227	231	229	232	225	-8.3%
D Zones humides	9.5	9.3	8.4	5.9	8.7	11.4	12.0	12.0	11.9	12.1	11.5	11.1	10.9	10.6	10.4	9.2%
E Zones artificialisées	71	64	62	60	63	63	64	60	61	61	62	63	63	63	65	-8.0%
F Autres terres	2.0	2.1	2.3	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	32%
H Autres	NA,NO	3 021	769	343	262	247	246	246	245	245	244	244	244	244	244	-
5 Déchets	**13 936**	**16 925**	**18 646**	**19 161**	**18 485**	**13 595**	**13 678**	**13 794**	**13 584**	**14 479**	**14 406**	**13 840**	**14 060**	**14 278**	**14 077**	**1.0%**
A Installations de stockage de déchets non dangereux	12 457	15 066	16 384	16 812	16 004	10 889	10 960	11 026	10 744	11 666	11 668	11 142	11 462	11 668	11 425	-8.3%
B Traitement biologiques des déchets solides (compostage, méthanisat	112	155	316	428	506	795	809	839	866	833	792	731	654	654	654	482%
C Incinération et brûlage de déchets	54	57	61	65	82	87	85	77	83	91	71	89	64	79	84	56%
D Traitement des eaux et rejets	1 313	1 648	1 884	1 856	1 892	1 824	1 825	1 852	1 891	1 889	1 875	1 878	1 880	1 877	1 914	46%
Memo																
Soutes internationales	**20**	**16**	**21**	**22**	**19**	**14**	**13**	**14**	**16**	**14**	**8**	**14**	**75**	**113**	**134**	**563%**
Aviation	4.8	2.6	2.1	1.9	1.9	1.8	1.9	1.9	1.8	1.8	0.8	1.0	1.5	1.6	1.6	-68%
Marine	15	14	19	20	18	12	11	12	14	12	7	13	74	112	132	761%

(f) France hexagonale 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 2026

serre/N2O.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart 2024/90 (%)
Total national (émissions nettes)	**55 308**	**55 966**	**44 896**	**38 804**	**33 280**	**32 959**	**32 072**	**32 926**	**31 740**	**31 288**	**30 340**	**31 036**	**29 510**	**29 096**	**28 723**	**-48%**
1 Energie	**3 100**	**3 655**	**3 526**	**3 787**	**3 349**	**3 633**	**3 658**	**3 680**	**3 545**	**3 541**	**3 313**	**3 503**	**3 500**	**3 380**	**3 376**	**8.9%**
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	**3 076**	**3 632**	**3 499**	**3 751**	**3 316**	**3 620**	**3 646**	**3 669**	**3 532**	**3 530**	**3 304**	**3 496**	**3 494**	**3 372**	**3 369**	**10%**
1 Industries de l'énergie	400	382	483	531	405	256	295	325	262	263	248	238	242	228	181	-55%
2 Industries manufacturières et construction	440	417	443	600	429	607	604	642	627	662	630	658	713	672	739	68%
3 Transport	897	1 518	1 274	1 292	1 159	1 378	1 421	1 407	1 367	1 343	1 143	1 245	1 257	1 205	1 180	32%
4 Autres secteurs	1 308	1 312	1 287	1 314	1 310	1 367	1 319	1 288	1 268	1 254	1 276	1 343	1 271	1 256	1 257	-3.9%
5 Autre	31.3	3.6	13.6	13.5	12.2	11.1	7.5	7.6	8.2	8.1	7.2	11.0	11.1	11.0	10.96	-65%
B Emissions fugitives des combustibles	**23**	**23**	**27**	**36**	**34**	**12**	**12**	**12**	**12**	**11**	**9.2**	**7.2**	**6.5**	**7.2**	**6.5**	**-72%**
2 Combustibles liquides et gazeux	23	23	27	36	34	12	12	12	12	11	9.2	7.2	6.5	7.2	6.5	-72%
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	**20 910**	**23 180**	**10 742**	**6 015**	**2 036**	**1 161**	**924**	**1 484**	**984**	**828**	**676**	**555**	**512**	**411**	**341**	**-98%**
B Chimie	20 798	23 066	10 626	5 899	1 917	1 030	794	1 356	855	696	539	418	375	277	203	-99%
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvant	1.4	2.3	2.1	2.3	2.0	2.5	2.6	2.5	2.5	2.5	2.1	2.3	2.5	2.4	2.5	86%
G Autres fabrication et utilisations de produits	111	112	114	114	116	128	127	126	126	129	135	135	134	132	135	22%
3 Agriculture	**26 682**	**24 920**	**26 724**	**25 056**	**23 650**	**24 199**	**23 592**	**23 901**	**23 398**	**23 208**	**22 711**	**23 325**	**21 813**	**21 757**	**21 519**	**-19%**
B Gestion des déjections animales	3 855	3 720	3 697	3 388	3 353	3 253	3 219	3 160	3 112	3 038	2 986	2 907	2 828	2 762	2 729	-29%
D Sols agricoles	22 808	21 181	23 005	21 654	20 285	20 937	20 366	20 734	20 280	20 165	19 721	20 414	18 981	18 991	18 786	-18%
F Incinération des résidus de culture	19	19	21	14	12	8.8	7.1	7.3	5.5	5.3	4.1	4.1	4.0	4.1	4.1	-79%
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	**2 105**	**1 692**	**1 340**	**1 360**	**1 409**	**1 166**	**1 116**	**1 061**	**1 008**	**971**	**900**	**904**	**949**	**928**	**861**	**-59%**
A Terres forestières	89	45	50	46	32	31	36	42	28	37	34	34	92	30	26	-71%
B Terres cultivées	1 666	1 351	974	948	946	770	714	659	625	590	526	523	508	548	483	-71%
C Prairies	65	68	74	80	85	62	65	67	67	63	63	63	62	63	61	-5.5%
D Zones humides	7.3	13.4	21.1	20.6	22.9	30.7	33.9	36.2	37.1	40.0	42.3	44.5	47.0	49.0	50.8	595%
E Zones artificialisées	265	201	209	254	313	262	256	246	240	229	223	227	226	225	226	-15%
F Autres terres	13	13	12	11	10	11	11	11	11	12	12	13	13	13	14	4.3%
5 Déchets	**2 511**	**2 519**	**2 565**	**2 586**	**2 836**	**2 801**	**2 782**	**2 801**	**2 806**	**2 740**	**2 739**	**2 749**	**2 736**	**2 620**	**2 627**	**4.6%**
B Traitement biologiques des déchets solides (compostage, méthanisat	61	73	99	118	139	198	202	209	214	210	208	189	178	179	179	194%
C Incinération et brûlage de déchets	151	151	129	113	103	89	69	66	63	90	91	84	71	55	55	-63%
D Traitement des eaux et rejets	2 299	2 295	2 336	2 354	2 594	2 515	2 512	2 526	2 528	2 440	2 440	2 476	2 486	2 385	2 392	4.0%
Memo																
Soutes internationales	**109**	**118**	**158**	**169**	**165**	**159**	**154**	**160**	**169**	**171**	**77**	**85**	**129**	**145**	**158**	**45%**
Aviation	67	81	106	116	117	127	125	127	131	138	59	65	103	120	130	92%
Marine	42	37	52	53	48	32	30	33	38	33	18	20	26	25	28	-33%

(f) France hexagonale 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_2e)

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

serre/HFCs.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart 2024/90 (%)
Total national (émissions nettes)	**4 226**	**1 577**	**5 964**	**12 456**	**17 044**	**18 067**	**17 848**	**17 307**	**15 709**	**13 801**	**12 348**	**11 189**	**10 255**	**9 398**	**8 527**	**102%**
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	**4 226**	**1 577**	**5 964**	**12 456**	**17 044**	**18 067**	**17 848**	**17 307**	**15 709**	**13 801**	**12 348**	**11 189**	**10 255**	**9 398**	**8 527**	**102%**
B Chimie	4 202	605	616	739	188	192	259	264	132	116	86	35	28	19	12	-100%
E Industrie électronique	24	14	21	15	10.1	2.7	2.3	6.4	7.6	6.1	5.5	5.6	2.3	1.0	0.9	-96%
F Consommation d'halocarbures	IE,NO	957	5 326	11 701	16 847	17 872	17 586	17 036	15 569	13 678	12 256	11 147	10 224	9 376	8 513	-

(f) France hexagonale 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_2e)

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

serre/PFCs.xls

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart 2024/90 (%)
Total national (émissions nettes)	**4 685**	**2 757**	**2 700**	**1 573**	**540**	**465**	**580**	**613**	**590**	**538**	**472**	**390**	**323**	**224**	**234**	**-95%**
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	**4 685**	**2 757**	**2 700**	**1 573**	**540**	**465**	**580**	**613**	**590**	**538**	**472**	**390**	**323**	**224**	**234**	**-95%**
B Chimie	1 084	289	310	229	11	2.2	1.9	2.8	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
C Métallurgie	3 211	1 894	1 731	747	47	56	98	37	58	60	55	38	33	26	30	-99%
E Industrie électronique	184	279	529	324	155	63	88	101	77	78	70	58	67	37	48	-74%
G Autres fabrication et utilisations de produits	206	295	130	273	326	344	392	472	455	400	347	294	223	162	155	-25%

(f) France hexagonale 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_2e)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 serre/SF6.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart 2024/90 (%)
Total national (émissions nettes)	**2 221**	**2 542**	**2 264**	**1 405**	**975**	**631**	**657**	**611**	**583**	**530**	**515**	**534**	**463**	**374**	**280**	**-87%**
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	**2 221**	**2 542**	**2 264**	**1 405**	**975**	**631**	**657**	**611**	**583**	**530**	**515**	**534**	**463**	**374**	**280**	**-87%**
B Chimie	134	134	141	115	73	117	135	137	138	134	159	166	118	70	56	-58%
C Métallurgie	743	828	762	355	197	39	62	55	59	31	7.9	7.9	4.1	2.0	NO	-
E Industrie électronique	57	57	67	36	5.1	2.4	2.2	4.0	3.6	3.5	4.2	4.7	4.5	4.3	4.0	-93%
G Autres fabrication et utilisations de produits	1 287	1 524	1 295	899	700	472	458	415	382	361	344	356	337	298	220	-83%

(f) France hexagonale 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_2e)**

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 serre/NF3.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart 2024/90 (%)
Total national (émissions nettes)	**15**	**5.9**	**19**	**29**	**30**	**5.8**	**5.5**	**13.1**	**11.7**	**9.9**	**8.2**	**11.6**	**13.0**	**11.6**	**10.9**	**-29%**
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	**15**	**5.9**	**19**	**29**	**30**	**5.8**	**5.5**	**13.1**	**11.7**	**9.9**	**8.2**	**11.6**	**13.0**	**11.6**	**10.9**	**-29%**
E Industrie électronique	15	5.9	19	29	30	5.8	5.5	13.1	11.7	9.9	8.2	11.6	13.0	11.6	10.9	-29%

(f) France hexagonale 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 2026

serre/SO2.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart 2024/90 (%)
Total national (émissions nettes)	**1 348**	**993**	**668**	**500**	**296**	**174**	**157**	**151**	**145**	**120**	**100**	**108**	**101**	**89**	**80**	**-94%**
1 Energie	**1 312**	**964**	**639**	**478**	**283**	**161**	**144**	**139**	**135**	**109**	**91**	**98**	**90**	**80**	**70**	**-95%**
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	**1 217**	**894**	**563**	**416**	**246**	**141**	**125**	**123**	**117**	**97**	**81**	**89**	**83**	**72**	**61**	**-95%**
1 Industries de l'énergie	502	380	260	203	110	51	40	41	37	28	22	26	25	18	15	-97%
2 Industries manufacturières et construction	360	282	171	118	89	58	56	53	52	45	44	48	43	41	33	-91%
3 Transport	185	150	52	23	11.0	13.8	11.3	11.8	13.0	11.3	3.0	3.5	3.9	3.4	3.5	-98%
4 Autres secteurs	167	81	80	69	34	17	16	16	14	13	11	12	10.0	9.3	8.5	-95%
5 Autre	2.6	1.0	1.2	2.1	1.1	1.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	-72%
B Emissions fugitives des combustibles	**96**	**70**	**76**	**62**	**37**	**20**	**19**	**16**	**18**	**12**	**10**	**8.3**	**7.2**	**8.3**	**9.2**	**-90%**
2 Combustibles liquides et gazeux	96	70	76	62	37	20	19	16	18	12	10	8.3	7.2	8.3	9.2	-90%
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	**31.1**	**25.6**	**27.0**	**20.3**	**11.8**	**12.2**	**12.7**	**11.2**	**10.1**	**9.5**	**9.0**	**9.9**	**9.0**	**8.4**	**9.4**	**-70%**
B Chimie	23	16	16	10.1	5.8	4.4	5.3	4.0	3.4	2.9	2.5	3.3	2.5	2.7	2.3	-90%
C Métallurgie	5.3	5.9	8.3	7.6	4.5	6.7	6.4	6.4	6.0	5.8	5.8	5.9	5.8	5.0	6.3	19%
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvant	0.222	0.188	0.042	0.011	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	-99%
H Autre	2.6	3.0	3.1	2.6	1.5	1.1	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	-72%
3 Agriculture	**0.4**	**0.4**	**0.5**	**0.3**	**0.3**	**0.2**	**0.1**	**0.2**	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**-80%**
F Incinération des résidus de culture	0.4	0.4	0.5	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-80%
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	**0.8**	**0.3**	**0.2**	**0.3**	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.2**	**0.1**	**0.2**	**0.1**	**0.1**	**1.1**	**0.1**	**0.0**	**-94%**
H Autres	0.8	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	1.1	0.1	0.0	-94%
5 Déchets	**3.5**	**2.9**	**1.1**	**0.6**	**0.5**	**0.5**	**0.4**	**0.4**	**0.4**	**0.4**	**0.4**	**0.4**	**0.3**	**0.3**	**0.3**	**-91%**
C Incinération et brûlage de déchets	3.5	2.9	1.1	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	-91%
Memo																
Soutes internationales	**115**	**93**	**128**	**138**	**85**	**82**	**76**	**84**	**97**	**86**	**10**	**11**	**15**	**15**	**16**	**-86%**
Aviation	3.0	3.5	4.6	5.1	5.1	5.6	5.5	5.6	5.8	6.0	2.6	2.8	4.5	5.3	5.7	93%
Marine	112	90	123	133	80	76	71	79	91	80	7.6	8.6	10.5	9.7	10.5	-91%

(f) France hexagonale 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 2026

serre/NOX.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart 2024/90 (%)
Total national (émissions nettes)	**2 169**	**1 967**	**1 819**	**1 647**	**1 297**	**1 094**	**1 052**	**1 018**	**964**	**899**	**787**	**825**	**782**	**714**	**682**	**-69%**
1 Energie	**1 950**	**1 773**	**1 618**	**1 460**	**1 129**	**921**	**880**	**847**	**794**	**731**	**623**	**663**	**623**	**564**	**536**	**-72%**
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	**1 945**	**1 768**	**1 613**	**1 455**	**1 124**	**918**	**877**	**844**	**791**	**729**	**622**	**661**	**622**	**562**	**535**	**-72%**
1 Industries de l'énergie	176	155	180	194	132	64	59	66	59	47	40	42	41	39	39	-78%
2 Industries manufacturières et construction	203	188	181	178	124	109	106	105	100	96	91	94	90	81	82	-60%
3 Transport	1 263	1 142	960	807	643	577	560	528	497	461	370	401	380	340	315	-75%
4 Autres secteurs	282	281	283	268	217	160	147	141	130	120	116	117	103	94	92	-67%
5 Autre	21.1	2.4	8.2	8.6	8.0	7.2	4.8	4.9	5.5	5.4	4.9	7.5	7.5	7.5	7.4	-65%
B Emissions fugitives des combustibles	**5.0**	**5.1**	**5.4**	**5.2**	**4.9**	**2.8**	**2.8**	**2.5**	**2.5**	**1.9**	**1.8**	**1.1**	**1.3**	**1.5**	**1.5**	**-70%**
2 Combustibles liquides et gazeux	5.0	5.1	5.4	5.2	4.9	2.8	2.8	2.5	2.5	1.9	1.8	1.1	1.3	1.5	1.5	-70%
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	**27**	**17**	**17**	**14**	**8.9**	**8.5**	**8.2**	**7.8**	**7.7**	**7.5**	**6.7**	**7.1**	**5.4**	**5.1**	**5.5**	**-79%**
B Chimie	23	13	13	10.6	6.4	6.4	6.0	5.9	5.8	5.7	5.2	5.5	3.9	3.6	3.9	-83%
C Métallurgie	1.5	1.7	2.2	1.9	1.2	0.9	1.0	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	-58%
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvant	2.1	1.9	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.8	0.9	0.9	0.8	0.9	-56%
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	-67%
3 Agriculture	**175**	**160**	**171**	**161**	**149**	**154**	**154**	**152**	**152**	**150**	**147**	**145**	**140**	**135**	**131**	**-25%**
D Sols agricoles	171	156	166	157	145	152	152	150	150	148	146	143	139	133	130	-24%
F Incinération des résidus de culture	4.7	4.6	4.7	3.8	3.0	2.1	1.8	1.8	1.5	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	-74%
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	**10.4**	**8.7**	**8.3**	**7.9**	**7.9**	**7.4**	**7.9**	**8.3**	**7.7**	**7.9**	**7.6**	**7.7**	**10.2**	**7.6**	**7.3**	**-30%**
A Terres forestières	3.8	1.8	2.1	1.9	1.3	1.2	1.5	1.8	1.2	1.5	1.4	1.4	4.0	1.3	1.1	-71%
B Terres cultivées	2.4	2.7	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.3	2.3	2.5	2.4	2.5	2.4	2.5	2.4	-1%
C Prairies	3.4	3.5	3.2	3.1	3.6	3.4	3.5	3.6	3.6	3.2	3.1	3.2	3.1	3.2	3.1	-10%
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	9.2%
E Zones artificialisées	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-8.0%
F Autres terres	0.018	0.019	0.020	0.019	0.020	0.020	0.020	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.024	0.024	0.02	32%
5 Déchets	**7.0**	**7.0**	**5.0**	**4.1**	**3.2**	**2.8**	**2.6**	**2.5**	**2.6**	**2.9**	**2.6**	**2.8**	**2.6**	**2.4**	**2.1**	**-70%**
C Incinération et brûlage de déchets	7.0	7.0	5.0	4.1	3.2	2.8	2.6	2.5	2.6	2.9	2.6	2.8	2.6	2.4	2.1	-70%
Memo																
Soutes internationales	**182**	**172**	**241**	**252**	**232**	**187**	**180**	**192**	**209**	**198**	**94**	**107**	**145**	**151**	**161**	**-12%**
Aviation	39	44	62	73	77	86	86	89	93	96	40	46	73	85	90	133%
Marine	143	128	180	179	155	101	93	103	116	102	54	60	72	66	71	-51%

(f) France hexagonale 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 2026

serre/COVNM.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart 2024/90 (%)
Total national (émissions nettes)	**4 077**	**3 698**	**3 320**	**3 061**	**2 637**	**2 584**	**2 535**	**2 591**	**2 670**	**2 563**	**2 512**	**2 313**	**2 710**	**2 556**	**2 331**	**-43%**
1 Energie	**1 703**	**1 352**	**1 002**	**784**	**584**	**425**	**431**	**403**	**376**	**358**	**307**	**339**	**294**	**282**	**268**	**-84%**
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	**1 513**	**1 236**	**925**	**737**	**553**	**402**	**408**	**380**	**353**	**336**	**290**	**322**	**275**	**261**	**249**	**-84%**
1 Industries de l'énergie	7.9	6.1	3.9	3.9	3.2	3.5	3.8	3.6	3.1	3.1	3.0	3.2	3.2	3.1	3.1	-61%
2 Industries manufacturières et construction	18	17	17	17	10	9.7	9.3	9.8	9.3	9.3	8.5	9.2	9.0	8.4	8.0	-56%
3 Transport	955	711	456	271	138	91	84	76	69	62	50	49	47	45	43	-95%
4 Autres secteurs	529	502	448	444	401	297	311	290	271	261	228	260	215	205	194	-63%
5 Autre	2.4	0.6	0.6	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.5	-78%
B Emissions fugitives des combustibles	**190**	**116**	**78**	**47**	**32**	**23**	**23**	**22**	**22**	**22**	**17**	**17**	**19**	**20**	**20**	**-90%**
1 Combustibles solides	33	22	9.0	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	-100%
2 Combustibles liquides et gazeux	156	93	69	46	32	23	23	22	22	22	17	17	19	20	20	-88%
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	**761**	**681**	**684**	**562**	**464**	**395**	**391**	**410**	**391**	**383**	**402**	**372**	**390**	**370**	**369**	**-51%**
B Chimie	43	43	46	36	22	20	16	16	15	14	13	12	13	11	11	-75%
C Métallurgie	1.6	1.6	2.0	1.7	1.4	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4	1.1	1.2	1.1	0.9	1.0	-37%
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvant	412	341	323	265	148	121	121	121	115	118	99	109	110	116	111	-73%
G Autres fabrication et utilisations de produits	268	260	278	222	255	213	212	229	216	207	247	205	222	201	205	-24%
H Autre	36	35	36	38	38	40	42	43	44	44	41	44	44	41	42	15%
3 Agriculture	**450**	**453**	**443**	**429**	**421**	**438**	**435**	**439**	**444**	**433**	**429**	**407**	**431**	**420**	**404**	**-10%**
B Gestion des déjections animales	256	249	250	234	241	247	245	244	242	238	235	228	223	218	217	-15%
D Sols agricoles	192	201	190	193	179	190	189	194	202	195	194	177	208	201	185	-3.2%
F Incinération des résidus de culture	2.4	2.4	2.6	2.2	1.7	1.3	1.1	1.1	0.9	0.9	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	-73%
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	**1 153**	**1 201**	**1 178**	**1 273**	**1 152**	**1 313**	**1 265**	**1 328**	**1 446**	**1 375**	**1 361**	**1 182**	**1 584**	**1 471**	**1 277**	**11%**
A Terres forestières	9.2	3.1	2.9	3.0	1.3	1.7	1.7	2.4	0.6	2.2	1.6	1.4	13.4	0.8	0.5	-94%
H Autres	1 143	1 198	1 175	1 270	1 151	1 311	1 263	1 325	1 445	1 373	1 359	1 181	1 570	1 470	1 276	12%
5 Déchets	**11**	**12**	**12**	**13**	**15**	**13**	**13**	**12**	**13**	**14**	**12**	**14**	**11**	**13**	**13.1**	**23%**
A Installations de stockage de déchets non dangereux	4.4	5.4	5.9	6.0	5.7	3.9	3.9	3.9	3.8	4.2	4.2	4.0	4.1	4.2	4.1	-8.3%
C Incinération et brûlage de déchets	6.1	6.4	6.5	6.9	8.7	9.2	9.0	8.2	8.8	9.7	7.5	9.4	6.8	8.4	8.9	45%
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	19%
Memo																
Soutes internationales	**6.1**	**4.9**	**5.9**	**5.9**	**5.4**	**4.1**	**4.0**	**4.2**	**4.6**	**4.2**	**2.1**	**2.5**	**3.4**	**3.4**	**3.6**	**-40%**
Aviation	2.7	1.8	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.6	0.8	1.2	1.3	1.3	-51%
Marine	3.4	3.1	4.3	4.4	3.9	2.7	2.5	2.7	3.1	2.7	1.5	1.7	2.2	2.1	2.3	-32%

(f) France hexagonale 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 2026

serre/CO.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ecart 2024/90 (%)
Total national (émissions nettes)	**10 848**	**9 084**	**6 846**	**5 888**	**4 915**	**3 336**	**3 434**	**3 352**	**3 174**	**3 094**	**2 700**	**2 979**	**2 813**	**2 535**	**2 516**	**-77%**
1 Energie	**9 598**	**7 523**	**5 627**	**4 538**	**3 513**	**2 590**	**2 685**	**2 555**	**2 412**	**2 320**	**2 036**	**2 266**	**2 054**	**1 919**	**1 890**	**-80%**
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	**9 543**	**7 475**	**5 579**	**4 496**	**3 478**	**2 571**	**2 664**	**2 536**	**2 387**	**2 299**	**2 006**	**2 241**	**2 023**	**1 895**	**1 870**	**-80%**
1 Industries de l'énergie	37	29	22	19	21	25	31	33	27	30	28	30	33	29	25	-32%
2 Industries manufacturières et construction	843	771	810	749	548	397	424	419	391	363	302	329	332	267	294	-65%
3 Transport	6 054	4 246	2 622	1 624	888	544	522	483	448	419	341	363	352	340	340	-94%
4 Autres secteurs	2 556	2 407	2 115	2 096	2 014	1 600	1 684	1 597	1 516	1 482	1 332	1 509	1 296	1 248	1 199	-53%
5 Autre	53.2	21.4	11.1	8.1	5.5	4.5	3.9	3.9	5.2	4.8	4.2	9.9	10.6	11.7	11.0	-79%
B Emissions fugitives des combustibles	**56**	**48**	**48**	**42**	**36**	**20**	**21**	**19**	**25**	**21**	**30**	**25**	**30**	**23**	**20**	**-63%**
1 Combustibles solides	38	31	28	25	18	18	19	18	23	19	29	24	29	22	19	-51%
2 Combustibles liquides et gazeux	17	16	20	18	18	1.7	1.5	1.4	1.7	1.8	1.0	0.9	0.9	1.7	1.5	-91%
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	**766**	**1 137**	**802**	**974**	**1 029**	**400**	**397**	**435**	**422**	**427**	**340**	**378**	**347**	**290**	**309**	**-60%**
B Chimie	9.1	9.2	11.5	9.9	7.7	3.3	3.2	3.2	3.0	2.8	2.4	2.9	2.4	2.3	2.7	-70%
C Métallurgie	741	1 115	781	957	1 016	393	390	427	415	421	334	372	341	284	304	-59%
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvant	9.6	7.1	4.5	3.2	1.8	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-94%
H Autre	5.8	5.5	5.3	3.9	3.8	3.3	3.3	3.2	3.0	2.8	2.8	2.6	2.5	2.3	2.0	-65%
3 Agriculture	**87**	**85**	**91**	**65**	**55**	**40**	**33**	**33**	**26**	**24**	**19**	**20**	**19**	**20**	**20**	**-77%**
F Incinération des résidus de culture	87	85	91	65	55	40	33	33	26	24	19	20	19	20	20	-77%
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	**368**	**309**	**296**	**279**	**279**	**264**	**279**	**293**	**275**	**280**	**271**	**274**	**363**	**270**	**257.6**	**-30%**
A Terres forestières	135	66	74	66	46	44	53	63	42	54	50	50	141	45	39	-71%
B Terres cultivées	86	94	87	83	83	76	78	81	83	88	86	87	86	87	85	-1.0%
C Prairies	122	125	113	109	126	119	124	126	127	114	111	113	112	114	110	-10%
D Zones humides	3.0	2.9	2.6	1.8	2.7	3.6	3.7	3.8	3.7	3.8	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	9.2%
E Zones artificialisées	22	20	19	19	20	20	20	19	19	19	19	20	20	20	20	-8.0%
F Autres terres	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	32%
5 Déchets	**29**	**31**	**31**	**31**	**39**	**41**	**40**	**36**	**39**	**43**	**34**	**42**	**30**	**37**	**39.6**	**34%**
C Incinération et brûlage de déchets	29	31	31	31	39	41	40	36	39	43	34	42	30	37	39.6	34%
Memo																
Soutes internationales	**20**	**19**	**23**	**23**	**22**	**20**	**20**	**20**	**21**	**20**	**10**	**11**	**17**	**19**	**20**	**-2.1%**
Aviation	13	12	13	13	13	14	14	14	14	14	6.3	7.6	11.3	12.3	12.8	2.0%
Marine	7.6	6.8	9.5	9.7	8.7	6.0	5.6	6.1	6.8	6.1	3.4	3.9	5.8	6.2	6.9	-8.7%

(f) France hexagonale 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 2024, 67,9 % 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 (88 %), les NO_x (79 %) et le CO (75 %). Elle contribue à un degré beaucoup moindre aux émissions de COVNM (12 %) en 2024.

En revanche, cette catégorie contribue seulement à hauteur de 12 % aux émissions de N_2O et de 5 % aux émissions de CH_4 hors UTCATF en 2024. Il n'y a pas d'émissions de HFC, PFC, NF_3 et SF_6 associées à cette catégorie dans le rapportage CCNUCC.

En 2024 dans la catégorie énergie, les émissions nationales de CO_2 du secteur des transports ressort nettement, avec 45,0 % 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 2024 enregistre une baisse par rapport à 2023 de -1 % 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 (10,5 %) 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 59 % des émissions du secteur Energie, suivi par le résidentiel/tertiaire et l'agriculture (17 %), puis l'industrie manufacturière (15 %) 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 18 % du transport et à 16 % de l'industrie manufacturière (partie énergétique). Le CO dans l'industrie de l'énergie et les émissions fugitives des combustibles est faible (environ 2 % 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 2024, le secteur de l'énergie est prépondérant (88 % du total national). La combustion regroupe 76 % des émissions totales (incluant industrie manufacturière 48 % des émissions du secteur; production d'énergie 21 % ; résidentiel/tertiaire et l'agriculture 12 % ; transport 5 % ; autres 1 %) tandis que les émissions fugitives de la distribution de pétrole et de gaz naturel représentent 11 % du total national.

Les émissions des industries de l'énergie, en particulier les centrales électriques, connaissent des fluctuations significatives au cours de la période 1990-2024 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 sont de nouveau à la baisse depuis2023 et, en 2024, elles ont atteint un niveau inférieur à celui de 1990 (de 1%) pour la deuxième fois de la période. 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. En 2024, les émissions continuent à diminuer de -1% par rapport à 2024. Les émissions de N_2O ont aussi connu une progression de 32 % entre 1990 et 2024. 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 182 kt, lié à l'évolution de la teneur en soufre des carburants,
- -94 % pour les émissions de CO, soit une baisse de 5714 kt,
- -95 % pour les émissions de COVNM soit une baisse de 912 kt,
- -75 % pour les émissions de NO_x soit une baisse de 949 kt,
- -86 % pour les émissions de CH_4, soit une baisse de 1008 kt CO_2e

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 2024). Ce secteur ne représente plus que 1.2 % des émissions de N_2O de la France (hors UTCATF) en 2024 contre 39,3 % 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 29 % 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 2024, 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 84 % de 1990 à 2024.

Les émissions de CO_2 baissent de 45 % de 1990 à 2024, pour atteindre environ 8,7 % 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 (-12 %), et en 2024, comparativement à 2023 (-3 %). La baisse entre 1990 et 2024 est observée à la fois dans la production de produits minéraux (-48 %) et dans la chimie (-32 %) suite à des diminutions de production principalement. Les émissions de la métallurgie sont assez fluctuantes sur la période mais en 2024, pour la troisième année consécutive, elles enregistrent une baisse significative par rapport à l'année précédente (-7 %), atteignant un niveau inférieur de 50 % 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 2024, concerne le CO (11 %) et les COVNM (14 %), les parts des autres polluants dans les procédés industriels étant très faibles. Ces émissions sont toutes orientées à la baisse entre 1990 et 2024 (NO_x -79 %, COVNM -51 %, SO_2 - 70 %, CO -60 %).

Concernant les COVNM, les émissions proviennent en majorité de l'utilisation de solvants et d'autres produits (85 % des émissions du CRT 2 et 30 % des émissions totales de COVNM en France en 2024 hors UTCATF). Les émissions de ces secteurs sont en baisse de 54 % en 2024 par rapport à 1990, soit une réduction d'environ 239 kt.

En termes d'émissions totales exprimées en CO_2 équivalent, ce secteur représente, en 2024, 9,0 % 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 77 % des émissions de la France (périmètre France UE) hors UTCATF en 2024. Les émissions de CH_4 du secteur sont en diminution de 20 % entre 1990 et 2024 et celles de N_2O ont régressé de 19 % sur cette même période.

La fermentation entérique (61 % en 2024 du total CH_4 en France au périmètre UE hors UTCATF) et les déjections animales (11 % en 2024) constituent l'essentiel des sources émettrices de CH_4 de cette catégorie. Les émissions de la fermentation entérique sont en baisse entre 1990 et 2024 (-22 %) notamment dû à l'évolution du cheptel. Celles de la gestion des déjections animales pour 2024 sont en légère baisse comparées au niveau de 1990 (-5,9 %).

La baisse des émissions de N_2O provient principalement du secteur des sols agricoles (-18 % des émissions entre 1990 et 2024, alors qu'il représente 87 % des émissions du CRT 3 en 2024) et, en particulier, de l'épandage des engrais minéraux. En effet, la quantité d'engrais épandus entre 1990 et 2024 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 185 kt en 2024 et sont relativement stables sur la série temporelle (environ 8 % des COVNM totaux avec UTCATF en 2024). Le secteur de l'agriculture est une source non négligeable d'émissions de NO_x (19 % du total national avec UTCATF en 2024), 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 2024 avec 18,2 % 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 52,1 Mt CO_2 en 1990 à 64,3 Mt CO_2 en 2024. Les niveaux de puits de 2024 sont désormais proches des niveaux de 1990, mais cela consiste une forte érosion du puits par rapport aux années 2010 où il approchait les 80 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 2024, passant de 26,0 Mt CO_2e en 1990 à 41,2 Mt CO_2e en 2024, et qui a connu un pic à 63,2 Mt CO_2e en 2004.

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 17,6 % entre 1990 et 2024.

Déchets (CRT 5)

Le traitement des déchets représente moins de 0,6 % des émissions totales de SO_2, de NO_x et de COVNM avec UTCATF en 2024, et environ 1,5 % des émissions nationales de CO avec UTCATF. En 2024, le CO_2 du secteur représente 0,5 % des émissions nationales hors UTCATF et le N_2O 9,4 % hors UTCATF. Les émissions de CH_4 associées au traitement de déchets représentent elles en revanche 23,4 % des émissions nationales hors UTCATF en 2024. 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 2024 et 81 % des émissions de CH_4 du secteur des déchets. Ces émissions de CH_4 sont en diminution de 8,3 % en 2024 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 14 % des émissions de CH_4 de cette catégorie en 2024, et ont augmenté de 46 % entre 1990 et 2024.

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 2024 (respectivement de 482 % et 194 %).

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.

<u>Soutes internationales</u>

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 2024, à environ 7,5 % du CO_2, 18,6 % des NO_x, et 15,4 % 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. En 2024, les émissions continuent d'augmenter comparativement à 2023 : +9 % pour le CO_2, +8 % pour le SO_2 et +7 % pour les NO_x. Les niveaux d'émissions de 2024 des soutes internationales demeurent, cependant, faibles par rapport aux niveaux d'avant crise Covid (-8 % de CO_2, -19 % pour les NO_x et -81 % 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 France hexagonale, 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 1990-2024.

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	2024
Mainland-Abroad EU	Total	19%	20%	20%	19%	19%	20%	20%	19%	19%	20%	21%	21%	21%	21%	19%	23%	24%	22%	22%
Mainland-Abroad non EU	Total	81%	80%	80%	81%	81%	80%	80%	81%	81%	80%	79%	79%	79%	79%	81%	77%	76%	78%	78%
Total Mainland-Abroad	Total	100%	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%	11%
EU_Overseas-Abroad non EU	Total	99%	94%	86%	95%	93%	92%	88%	91%	85%	85%	86%	88%	87%	85%	63%	74%	80%	81%	89%
Total EU_Overseas-Abroad	Total	100%	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%	4,3%
nonEU_Overseas-Abroad non EU	Total	100%	98%	96%	99%	97%	96%	95%	97%	95%	95%	94%	93%	93%	93%	84%	94%	94%	93%	96%
Total nonEU_Overseas-Abroad	Total	100%	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%	21%
FR-Abroad non EU	Total	82%	81%	81%	82%	81%	81%	81%	81%	81%	80%	79%	80%	80%	80%	80%	77%	76%	78%	79%

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 émissions de CO_2 fluctuent sur la période 1990-2024 car les émissions dépendent du nombre de lancements et du type d'engin qui eux-mêmes varie en fonction des années. Une forte diminution des émissions de CO_2 est cependant à noter depuis 2017 (-81%), liée à la réduction du nombre de lancement par année (par exemple, 3 en 2024 contre 11 en 2017) et à l'utilisation d'engins plus efficaces..

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 de production d'électricité et de chaleur, 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 l'Hexagone, voire les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE 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

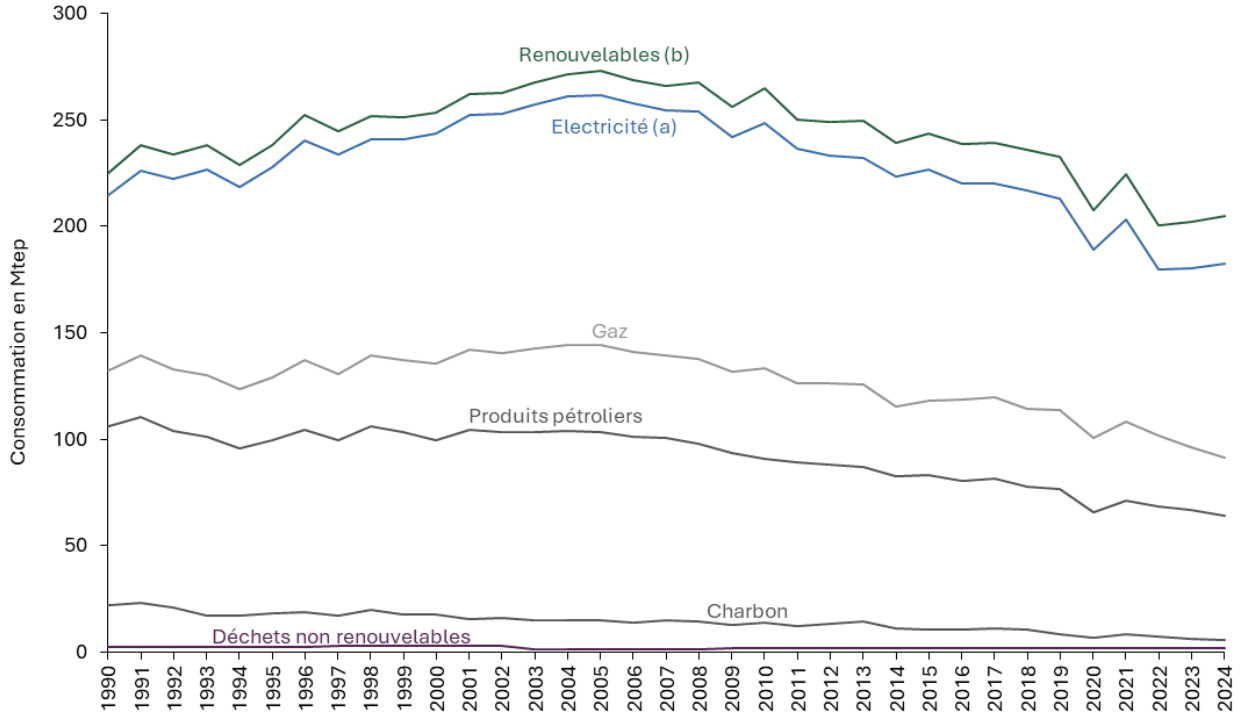
Secteur bilan énergie SDES	Secteur CRT
Consommation de la branche transformation	
Centrales d'électricité / de cogénération / calogènes (activité principale et autoproduction)	1A1a (production centralisée d'électricité et production centralisée de chaleur, production de chaleur du chauffage urbain, autoproduction 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 par pipeline)
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 (combustion mobile)
Transports (hors soutes maritimes internationales)	1A3
Commerce et services publics *Résidentiel*	1A4a, 1A4b
Agriculture/Sylviculture *Pêche*	1A4ci/1A4cii 1A4ciii
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 Hexagone (électricité comprise).

Figure 13 : Consommation d'énergie primaire en France hexagonale (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 2026

Graph_1A.xlsx/Energie primaire

Alors que la tendance de consommation entre 1990 et 2005 était à la hausse de + 1,3 % par an en moyenne, la consommation d'énergie primaire a cessé de croître depuis 2005, avec une baisse marquée 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, les mesures de décarbonation de certains secteurs plus récemment, et enfin des 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 +9 Mtep, soit +11 %, entre 1990 et 2024. Par rapport à 1990, la consommation d'électricité a augmenté d'environ 30-40 % sur la période 2003-2015 (niveau assez stable, hors 2009), mais une tendance à la baisse est observée dans les années plus récentes (-16% en 2024 comparé à 2015).

Les consommations des énergies renouvelables (+114 % soit +12 Mtep entre 1990 et 2024) et du gaz (+5 % soit +1 Mtep entre 1990 et 2024) sont à la hausse. Sur la même période, la tendance au recul du pétrole se confirme au fil des ans (-31 % en 2024, comparé à 1990) tandis que celle du charbon est d'autant plus significative (-80 % en 2024, 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 eu lieu en 2020.

En 2024, la structure du mix énergétique primaire de la France est la suivante : 45 % d'électricité primaire, 28 % de produits pétroliers, 13 % de gaz, 12 % de renouvelables thermiques (y compris déchets) et 2 % de charbon. La consommation totale d'énergie est en légère hausse (+2%) comparativement à l'année précédente, avec un léger progrès de l'éléctricité et des énergies renouvelables (+8%), tandis que les énergies fossiles sont en léger recul (-6%).

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 l'Hexagone (l'ensemble Outre-mer ne représente que 2 % environ en 2024), 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 % pour le charbon ;
- De -12 % pour les produits pétroliers ;
- De seulement -1 % pour la biomasse.

Elles sont reparties à la hausse en 2022-2023 (+9 % en 2023 comparé à 2020), pour tous les combustibles sauf le charbon (-25% comparé à 2020). En 2024, la consommation de charbon a d'autant plus fortement chuté (-63% par rapport à 2023), ainsi que la consommation de produits pétroliers dans une moindre mesure (-8%), compensée par une forte augmentation de combustible biomasse (+42%), notamment suite à la conversion de centrales thermiques à charbon et au fioul lourd en biomasse (pellets ou bioéthanol).

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

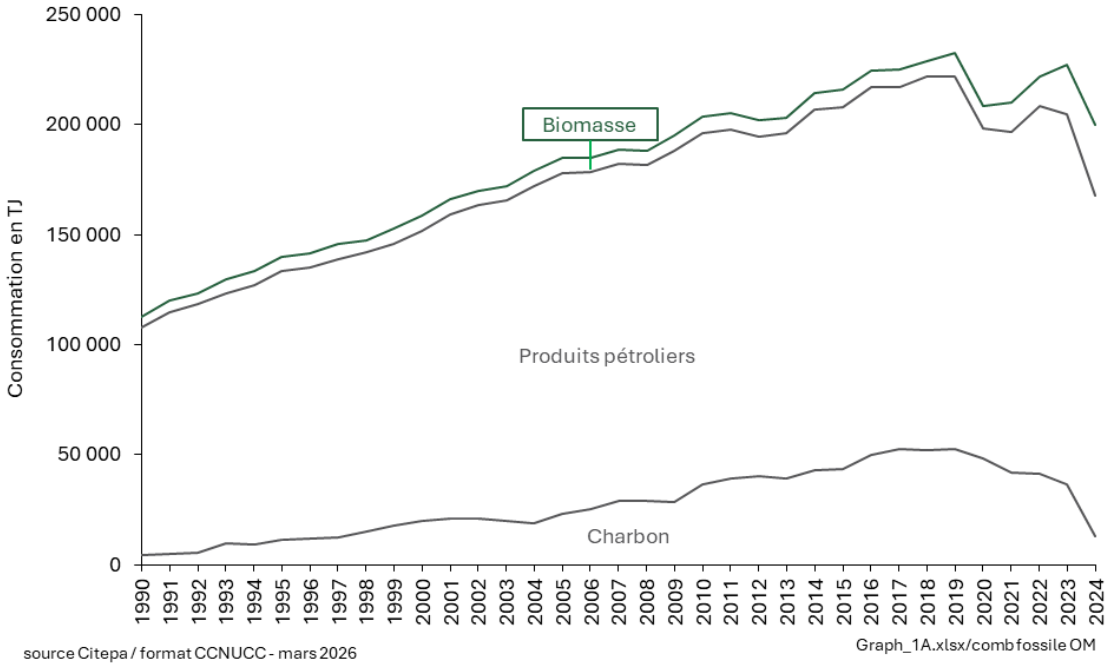


Tableau 33 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer (non corrigée du climat)

	Consommation en TJ			
Total Outre-mer	Charbon	Produits pétroliers	Biomasse	**Total**
1990	4 274	103 572	4 854	**112 700**
1995	11 083	122 556	6 303	**139 942**
2000	19 790	131 774	6 903	**158 467**
2005	22 883	155 250	6 654	**184 786**
2006	25 264	153 247	6 528	**185 038**
2007	28 789	153 504	6 288	**188 581**
2008	29 175	152 329	6 427	**187 932**
2009	28 638	159 515	6 904	**195 057**
2010	36 581	159 575	7 178	**203 335**
2011	39 208	158 637	7 198	**205 043**
2012	40 261	154 171	7 359	**201 792**
2013	39 312	156 559	7 050	**202 921**
2014	42 630	164 117	7 454	**214 201**
2015	43 167	164 665	7 868	**215 700**
2016	49 864	167 126	7 539	**224 529**
2017	52 520	164 626	7 777	**224 923**
2018	52 163	169 738	6 964	**228 865**
2019	52 498	169 469	10 354	**232 321**
2020	48 512	149 841	10 239	**208 592**
2021	42 077	154 621	13 493	**210 191**
2022	41 314	167 050	13 552	**221 916**
2023	36 406	168 346	22 543	**227 295**
2024	13 153	154 647	32 031	**199 831**

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 2021-2023 (+6% en 2021, par rapport à 2020 ;+puis +3% en 2022 et en 2023, par rapport à 2021). En 2024, les consommations énergétiques sont très légèrement en hausse avec +0,4% par rapport à 2023 avec une baisse interannuelle marquée du charbon (-56%), poursuivant la tendance observée depuis 2020 (-78% entre ces deux années), compensée par un recours accru à la biomasse (+42%), qui a triplé depuis 2020.

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

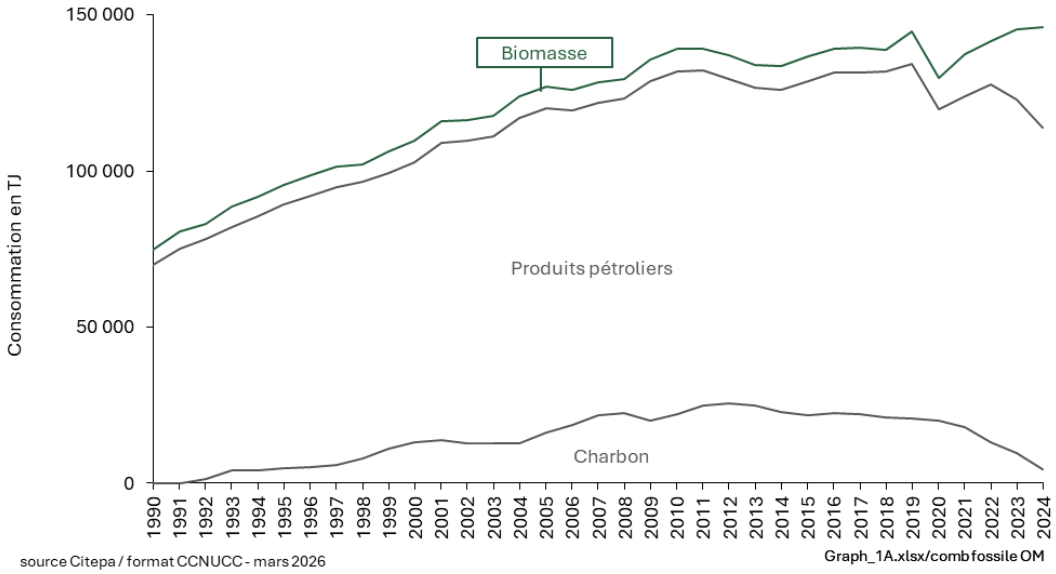


Tableau 34 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer au périmètre France UE (non corrigée du climat)

	Consommation en TJ			
Outre-mer périmètre UE	Charbon	Produits pétroliers	Biomasse	**Total**
1990	0	69 938	4 854	**74 792**
1995	4 854	84 295	6 303	**95 452**
2000	13 287	89 597	6 903	**109 786**
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	6 904	**135 642**
2010	22 149	109 680	7 178	**139 007**
2011	24 774	107 289	7 198	**139 261**
2012	25 742	103 867	7 359	**136 967**
2013	24 741	102 082	7 050	**133 872**
2014	22 961	103 189	7 454	**133 603**
2015	21 650	107 215	7 868	**136 733**
2016	22 569	108 906	7 539	**139 013**
2017	22 049	109 528	7 777	**139 354**
2018	21 181	110 541	6 964	**138 686**
2019	20 749	113 432	10 354	**144 534**
2020	20 070	99 523	10 239	**129 832**
2021	18 114	105 869	13 493	**137 476**
2022	13 046	114 844	13 552	**141 442**
2023	9 836	113 077	22 543	**145 456**
2024	4 342	109 654	32 031	**146 027**

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

ENERGIE (périmètre France UE)			Secteurs-d.xlsx	
	1990		2024	
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	352 351	88%	242 143	90%
CH_4	13 985	17%	3 115	5.2%
N_2O	3 100	5.8%	3 376	12%
HFC	0	0%	0	0%
PFC	0	0%	0	0%
SF_6	0	0%	0	0%
NF_3	0	0%	0	0%
CO_2e	369 436	68%	248 633	68%

source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

La consommation de combustibles fossiles est la première source d'émissions de CO_2, produit fatal de la combustion. Ainsi en 2024, environ 890% des émissions de CO_2 en France au périmètre France UE, hors UTCATF, proviennent de l'utilisation de l'énergie. Les parts des émissions de CH_4 et N_2O sont bien moindres, avec respectivement 5,2 % et 12 % des émissions en 2024 (hors UTCATF). Cette catégorie représente environ 68 % des émissions GES totales de la France au périmètre France UE, hors UTCATF, en 2024.

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	Différence % A/B	Différence % sans écart statistique A/B
1990	351 507	347 990	1,0	1,9
1991	366 643	373 821	-1,9	2,7
1992	344 806	365 738	-5,7	3,3
1993	341 122	347 542	-1,8	2,4
1994	317 249	339 670	-6,6	3,2
1995	331 179	345 821	-4,2	1,6
1996	358 420	362 911	-1,2	1,8
1997	333 232	354 926	-6,1	3,4
1998	365 036	373 095	-2,2	0,6
1999	357 982	372 430	-3,9	2,1
2000	348 146	366 218	-4,9	1,1
2001	367 886	372 518	-1,2	1,0
2002	362 725	367 599	-1,3	1,3
2003	367 499	375 009	-2,0	1,8
2004	369 993	374 629	-1,2	1,7
2005	370 959	377 087	-1,6	1,6
2006	358 652	365 983	-2,0	1,8
2007	350 810	354 923	-1,2	1,3
2008	351 702	352 307	-0,2	0,9
2009	343 086	343 664	-0,2	2,0
2010	344 659	346 111	-0,4	0,9
2011	321 995	323 907	-0,6	0,5
2012	329 121	329 386	-0,1	-0,5
2013	325 148	329 658	-1,4	0,3
2014	294 240	297 674	-1,2	0,5
2015	302 486	303 844	-0,4	0,8
2016	304 118	307 522	-1,1	0,6
2017	308 466	308 920	-0,1	-0,7
2018	293 423	293 712	-0,1	-0,6
2019	289 950	288 440	0,5	-0,3
2020	252 868	257 272	-1,7	1,6
2021	271 985	280 150	-2,9	0,9
2022	264 232	270 552	-2,3	0,4
2023	249 338	248 831	0,2	0,6
2024	233 820	240 629	-2,8	0,0
Moyenne	***326 985***	***333 157***	***-1,8***	***1,2***

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 1990-2024, les écarts sont en moyenne de -1,8 % entre les deux approches (périmètre géographique France UE). En ne considérant pas les écarts statistiques qui créent des biais statistiques entre les approches de référence et sectorielle, la différence est en moyenne de +1,2 % sur cette même période. Entre 2001 et 2024, l'écart moyen entre les deux approches est de -1,1 % (+0,8 % sans les écarts statistiques). 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 bien supérieurs à ± 2 %, l'approche sectorielle étant en général supérieure en niveau à 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 15% (en début de période) et 30% (dans les années plus récentes) 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 2010-2024 provenant de l'ETS (raffinerie et chimie) supérieures à celles du 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%	0,3%	4,2%
1991	2,0%	3,1%	3,3%	4,4%
1992	7,2%	3,6%	8,5%	4,8%
1993	2,0%	2,8%	3,2%	4,0%
1994	7,6%	2,6%	8,8%	3,8%
1995	6,3%	2,3%	7,4%	3,3%
1996	2,5%	2,5%	3,3%	3,5%
1997	7,2%	3,6%	8,3%	4,7%
1998	3,1%	0,8%	4,0%	1,7%
1999	4,8%	2,3%	5,6%	3,2%
2000	6,4%	0,8%	7,1%	1,5%
2001	0,7%	1,6%	1,4%	2,3%
2002	1,5%	1,8%	2,3%	2,7%
2003	3,4%	2,3%	4,4%	3,5%
2004	1,9%	2,0%	3,2%	3,3%
2005	2,0%	2,2%	3,2%	3,6%
2006	2,2%	2,4%	3,2%	3,5%
2007	0,9%	1,8%	1,8%	2,9%
2008	-0,1%	1,3%	0,7%	2,3%
2009	0,1%	2,4%	0,5%	2,8%
2010	2,7%	2,6%	3,1%	3,1%
2011	1,5%	-0,4%	1,6%	-0,1%
2012	0,8%	-1,9%	0,9%	-1,6%
2013	3,2%	-0,1%	3,6%	0,4%
2014	1,3%	0,0%	1,7%	0,4%
2015	0,0%	0,6%	0,9%	1,5%
2016	2,0%	0,3%	2,4%	0,9%
2017	1,8%	0,1%	0,5%	-1,1%
2018	0,8%	-1,2%	1,4%	-0,6%
2019	-0,3%	-0,4%	0,0%	0,1%
2020	2,6%	3,2%	2,3%	3,2%
2021	4,8%	2,3%	4,8%	2,5%
2022	2,9%	0,5%	3,2%	1,0%
2023	-0,8%	1,0%	-0,7%	1,4%
2024	3,8%	0,4%	3,8%	0,8%

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 1,5 % 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 -0,2 % 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%	1,3%
1991	2,0%	1,8%
1992	7,2%	1,5%
1993	2,0%	0,9%
1994	7,6%	0,9%
1995	6,3%	0,4%
1996	2,5%	-0,2%
1997	7,2%	1,1%
1998	3,1%	-0,7%
1999	4,8%	-0,4%
2000	6,4%	-0,7%
2001	0,7%	-0,2%
2002	1,5%	-0,5%
2003	3,4%	-0,7%
2004	1,9%	-0,9%
2005	2,0%	-0,6%
2006	2,2%	-0,6%
2007	0,9%	-0,7%
2008	-0,1%	-1,1%
2009	0,1%	-0,7%
2010	2,7%	-0,9%
2011	1,5%	-0,3%
2012	0,8%	-2,6%
2013	3,2%	-1,2%
2014	1,3%	-1,2%
2015	0,0%	-0,6%
2016	2,0%	-0,9%
2017	1,8%	-0,7%
2018	0,8%	-2,2%
2019	-0,3%	-1,7%
2020	2,6%	1,7%
2021	4,8%	1,3%
2022	2,9%	0,3%
2023	-0,8%	0,7%
2024	3,8%	0,5%

→ 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 -2,0 %. 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 0,6 % pour les consommations (variant de -6,6 % à +4,0 %) et -1,5 % pour les émissions (variant de -5,5 % 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 à 15 % en consommations, sont alors ramenés aux alentours de 1 à 2 %, à l'exception de l'année 2024 qui doit encore être approfondie.

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%	0,5%	-4,9%	-2,2%
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%	-3,3%	0,5%
2015	-2,1%	1,6%	-3,4%	-0,8%
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%	2,6%	9,5%	0,0%
2021	10,1%	0,4%	4,8%	-2,4%
2022	6,2%	-2,2%	3,5%	-2,3%
2023	5,1%	-3,8%	6,7%	0,0%
2024	14,5%	-6,6%	9,0%	-5,5%

→ Gaseous fuels : les écarts sont en général assez faibles (en moyenne -0,5 % pour la consommation et 0,1 % 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). En effet, sur toute la série temporelle, les écarts observés entre les deux approches varient seulement entre 0 et ±1 % une fois les écarts statistiques retirés. 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 2010-2024 s'expliquent notamment par l'injection de

biométhane sur le réseau de distribution, qui n'est pas rapporté dans les déclarations des exploitants 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 pertes de distribution + ajout stations de compression
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%	0,02%
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%	0,00%
2018	-0,9%	-0,6%	0,20%
2019	-1,0%	-0,6%	0,02%
2020	-1,1%	-0,5%	0,08%
2021	-1,5%	-0,6%	0,03%
2022	0,2%	-0,4%	0,17%
2023	0,0%	-0,4%	0,20%
2024	0,2%	-0,3%	0,23%

- 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 62 à 75 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	0,2%	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%
2024	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 [14] 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[15] (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.

[14] 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*"

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

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

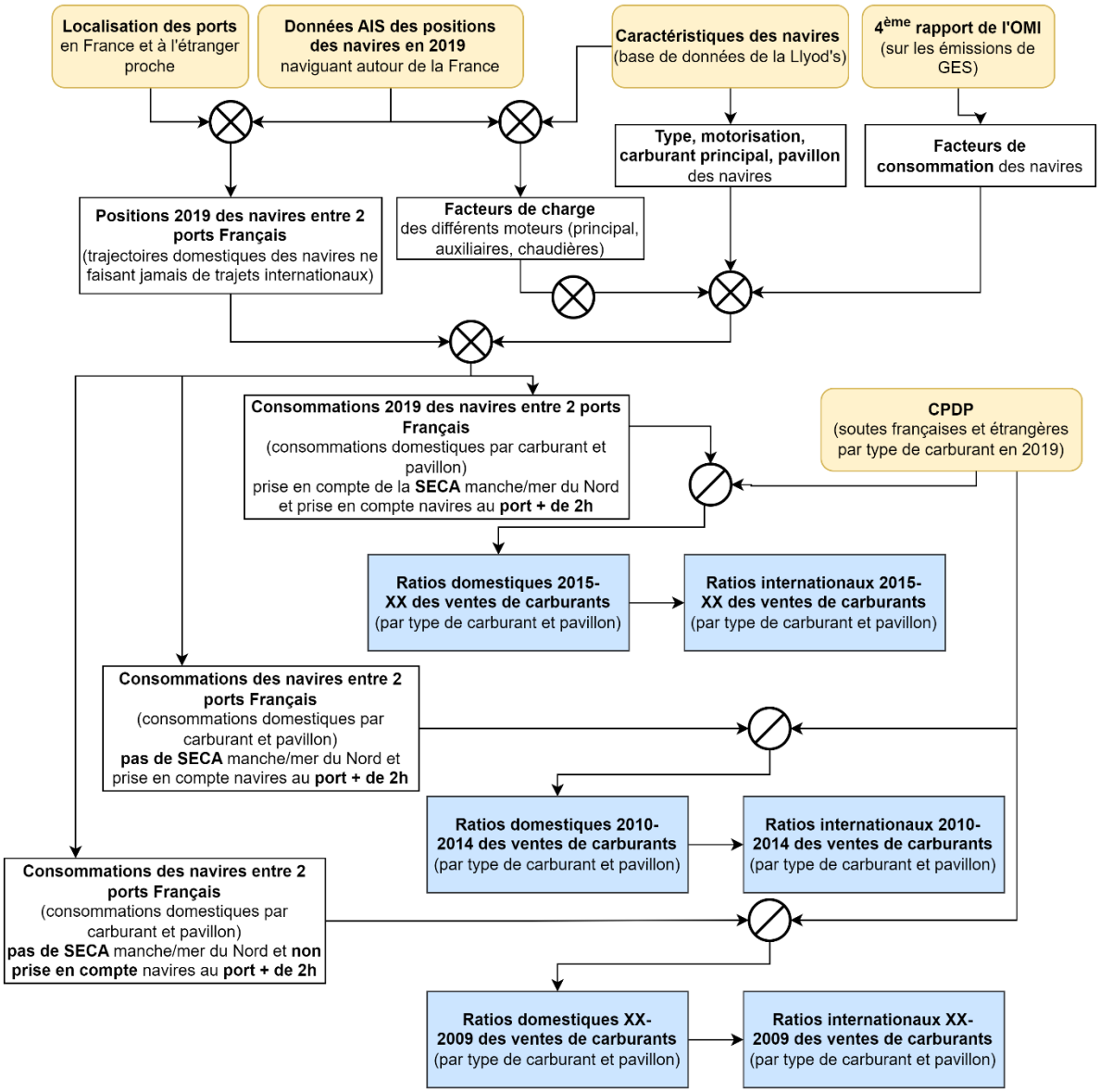


Tableau 42 : Consommations 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord est une SECA.

Année	DML			FOL			LNG	Total
	Pavillon		Total	Pavillon		Total	Pavillon	
	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	Total
	Pavillon		Total	Pavillon		Total	Pavillon	
	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	Total
	Pavillon		Total	Pavillon		Total	Pavillon	
	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 Hexagone. 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 Hexagone (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, pour le secteur de la sidérurgie, 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). De plus, des consommations non-énergétiques de charbon et de coke de houille ont également lieu lors des productions de ferroalliages (2C2), de silicium (2C2) et de carbonate de sodium (2B7).

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[16] 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 France hexagonale que pour l'Outre-mer.

[16] 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.

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	29,5	[1]
102	Charbon vapeur	26	[1]
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 :

- <u>Mesure :</u>

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

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:

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

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 :

$$E_s = \sum_{f=1}^{f=n} Q_f \times PCI_f \times FE_{s,f} \quad (3)$$

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 hexagonale (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 France hexagonale 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	Valeur nationale	Source
		kg CO_2 / GJ y compris facteur d'oxydation		
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]
104	Aggloméré de houille	94,6	94,6	[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		

Code NAPFUEc	Désignation	Intervalle sectoriel observé dans l'inventaire depuis 1990	Valeur nationale	Source
		kg CO_2 / GJ y compris facteur d'oxydation		
214	Solvants usagés	[72 - 86]	82,3	Moyenne 2014-2016 [19]
215	Liqueur noire	-	95,3 (rapporté pour information)	[638]
222	Bitumes	[84 - 96]	variable selon les années	[19]
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 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%
2024	3,279%

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 hexagonale (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 :

$$FE_{melange_mesure} = \frac{44{,}011}{\left(12{,}011 + 1{,}008 \cdot R_{H:C_mesure} + 16 \cdot R_{O:C_mesure}\right)}$$

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 :

$$Vente_{pp+bio} \cdot FE_{melange_mesure} = Vente_{pp+bio} \cdot \left(FE_{pp} \cdot \%_{pp} + FE_{bio} \cdot \%_{bio}\right)$$

$$avec\ \%_{pp} = 1 - \%_{bio}$$

$$FE_{pp} = \frac{\left(FE_{melange_mesure} - FE_{bio} \cdot \%_{bio}\right)}{1 - \%_{bio}}$$

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 :

Tableau 53 : Facteurs d'émission de CO_2 des produits pétroliers (essence sans-plomb et gazole)

	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.

Tableau 54 : Facteurs d'émission de CO_2 de l'essence plombée

	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[17] 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 TGAP18, devenue TIRIB19 en 2019 puis TIRUERT en 2022.

[17] EMAG = Esther méthyl d'acide gras (esther méthyl d'huile végétal et esther methyl d'huile usagée)
[18] Circulaire du 9 mars 2012 relative à la taxe générale sur les activités polluantes/prélèvement sur les carburants
[19] Circulaire du 12/06/2019 relative à la taxe incitative relative à l'incorporation de biocarburants.

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 tCO_2/t bioessence

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

Tableau 55 : PCI et contenus Carbone des différents produits composant les agro-carburants

Caractéristiques	ETBE	Ethanol	Huile de colza	Huile de tournesol	EMHV colza	EMHV tournesol
PCI (MJ/kg)	35,88	26,8	37,2	37,7	37,9	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%	77%	69,7%	69,7%

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 57 : Evolution temporelle de la répartition des agro-carburants mis à la consommation entre 2005 et 2024, pour l'essence

Pourcentage volumique	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024
$\%_v$ ETBE	97%	70%	57%	43%	43%	36%	21 %	23%
$\%_v$ Ethanol	3,3%	30%	40%	55%	53%	63%	74 %	69%
%v BioMTBE	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1,3 %	3,4 %
$\%_v$ Bioessence de synthèse	0%	0%	2,3%	2,0%	4,5%	1,8%	3,6 %	4,4%
$\%_v$ bio dans les agro-carburants de l'essence	49%	63%	70%	77%	77%	81%	89 %	88%

Tableau 58 : Evolution temporelle de la répartition des agro-carburants mis à la consommation entre 2005 et 2024, pour le gazole

Pourcentage volumique	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024
$\%_v$ *EMAG totaux*	100%	99%	94%	91%	89%	96%	91%	87%
$\%_v$ Biogazole de synthèse	0%	1,1%	5,6%	9,2%	11%	4,3%	8,6%	13%
$\%_v$ bio dans les agro-carburants du gazole	94,8%	94,9%	95,1%	95,3%	95,4%	95,1%	95,3%	95,5%

Tableau 59 : Evolution temporelle de la répartition des agro-carburants mis à la consommation entre 2005 et 2024, pour le kérosène

Pourcentage volumique	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024
$\%_v$ Biokérosène	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%
$\%_v$ bio dans les agro-carburants du kérosène	0%	0%	0%	0%	0%	100%	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][1365].

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 France hexagonale 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] [1365].

Les facteurs d'émission présentés dans la base de données OMINEA sont utilisés pour la France hexagonale 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.

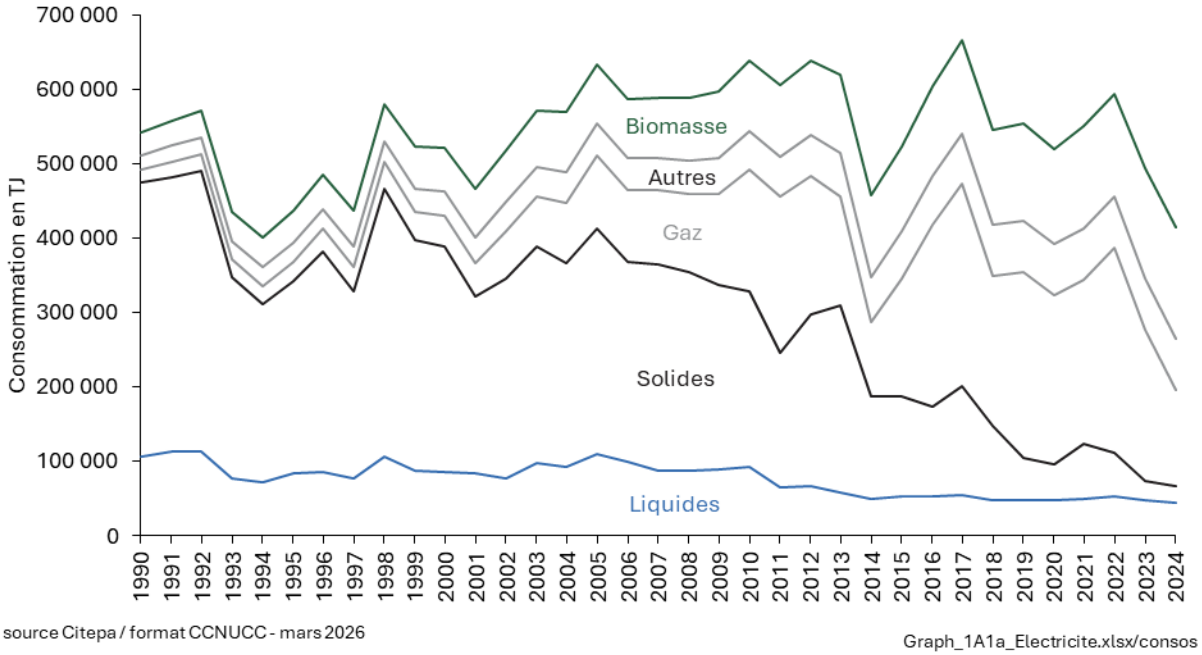
Par le CO_2 émis (tous combustibles confondus), ce secteur en 2024 est une source clé à 5,8 % en niveau d'émissions nationales hors UTCATF et à 17,2 % en évolution. Les sources clés en contribution au total ou à son évolution, par combustible et par substance, sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 60 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1a est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A1a - gas	CO_2	12ème	2,0%	7ème	3,1%
1A1a - other fossil fuel	CO_2	13ème	1,9%	10ème	2,6%
1A1a – coal	CO_2	22ème	1,0%	2ème	10,4%
1A1a - oil	CO_2	23ème	0,9%	23ème	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)



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 6% 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 6% par rapport à l'année 2020, et la consommation de charbon repart significativement à la hausse (+51%). Après une année 2022 encore en légère croissance, l'année 2023 est marquée par une baisse significative des consommations (-17% comparé à 2022), notamment pour le charbon (-53% 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 et de chaleur a augmenté de 7% entre 2022 et 2023. En 2024, la consommation du 1A1a a poursuivi la baisse observée et a été réduite de 16% comparé à 2023, notamment en lien avec la chute de la consommation de gaz naturel (-36%), observée principalement pour la filière électrique.

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 61 : Production brute et consommation d'électricité sur le périmètre France UE depuis 2011

	Production brute et consommation d'électricité en TWh - France (périmètre UE)													Graph_1A1a.xls/Electricité-Fr-UE
source Citepa / format CCNUCC - mars 2026	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Production nationale	**574**	**573**	**583**	**573**	**580**	**565**	**562**	**583**	**571**	**533**	**556**	**475**	**525**	**571**
Hydraulique, éolien et photovoltaïque	61	80	94	88	86	92	85	106	105	117	113	104	130	144
Thermique nucléaire	442	425	424	436	437	403	398	413	399	354	379	295	338	380
Thermique classique	64	62	59	42	51	64	73	58	62	57	58	70	51	40
Solde des échanges	*-56*	*-45*	*-48*	*-67*	*-64*	*-42*	*-40*	*-63*	*-58*	*-45*	*-45*	*15*	*-50*	*-90*
Importations	*10*	*12*	*12*	*8*	*10*	*20*	*21*	*14*	*16*	*20*	*24*	*52*	*25*	*15*
Exportations	*-66*	*-57*	*-60*	*-75*	*-74*	*-61*	*-61*	*-76*	*-73*	*-65*	*-69*	*-37*	*-76*	*-105*
Pompages et Consommation des auxiliaires	*-22*	*-17*	*-15*	*-16*	*-15*	*-15*	*-15*	*-16*	*-15*	*-15*	*-15*	*-7*	*-6*	*-8*
Consommation (1)	**495**	**512**	**519**	**490**	**501**	**508**	**506**	**504**	**499**	**473**	**496**	**472**	**458**	**461**

(1) Consommation intérieure ou énergie appelée, non corrigée du climat *Source : SDES*

En France Hexagonale, 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 près de deux tiers de la consommation d'énergie entrante, avec la mise en service des nouvelles centrales au gaz depuis 2005 [19, 20, 21].

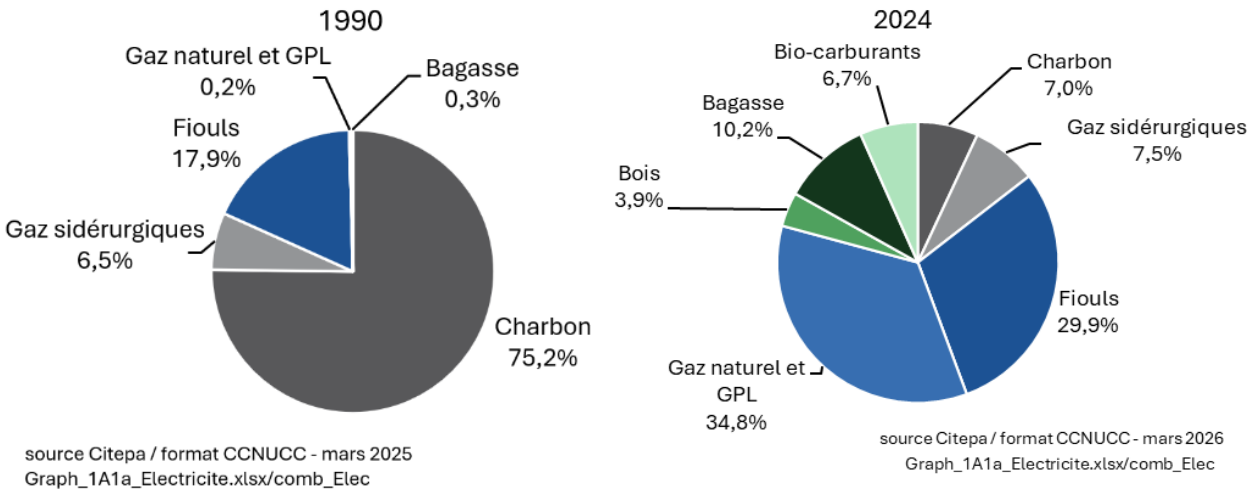
La part de biométhane consommé est retranchée de la consommation de gaz naturel à partir des données du bilan énergétique annuel [34] et des publications annuelles du panorama du gaz renouvelable [1112].

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 l'Hexagone, 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 3,54 Mtep d'énergie en 2024, dont 1,95 Mtep en Hexagone et 1,54t Mtep en Outre-Mer dans l'UE. Les figures suivantes présentent la répartition par combustible des consommations de ces installations en 1990 et en 2024.

Figure 18: Mix de combustibles des centrales thermiques de production d'électricité (périmètre France UE)



Depuis 1990, la part des CMS (dont gaz sidérurgique) a chuté de 81,7 % à 14,5 %, 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.

- En 2024, la consommation des centrales thermiques a fortement diminué en Hexagone (-45 %), principalement grâce à la hausse de la production nucléaire, portée par une meilleure disponibilité des réacteurs. À l'inverse, elle a légèrement augmenté dans les Outre-mer de l'UE (+2%), mais avec une part grandissante des combustibles d'origine biomasse comme les pellets et le bioéthanol, notamment suite à la conversion de centrales thermiques à La Réunion.Le mix énergétique total des centrales thermiques françaises a donc nettement évolué dans les années récentes, au profit de ces combustibles biomasse.

Les installations de chauffage urbain

Il y a en France métropolitaine plus de 650 installations de chauffage urbain alimentant plus d'un millier de 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 comme en 2024. 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).

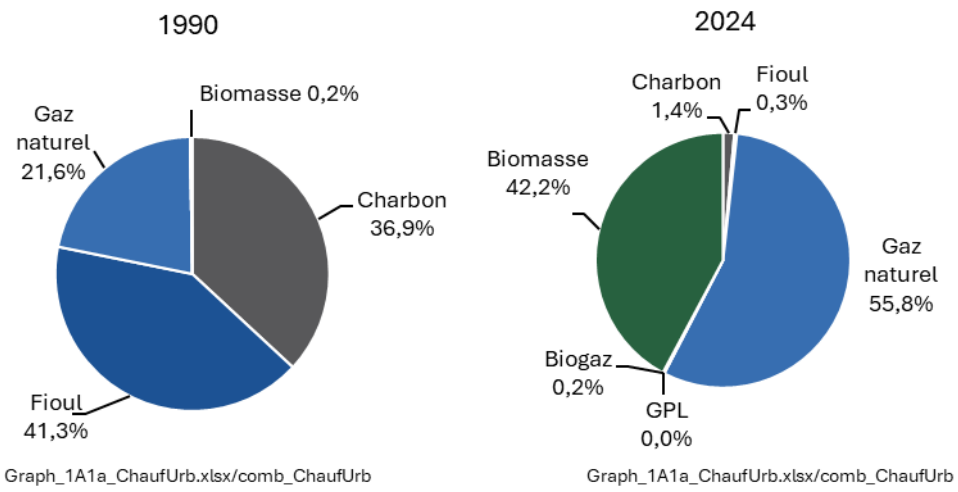
Tableau 62 : Production du chauffage urbain en France hexagonale

Année	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
2024	1 041	28 326	2 466

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 56 % de la consommation énergétique totale du secteur entre 1990 et 2024. Le recours à la biomasse se développe également de façon notable : sa contribution est passée de 0,2 % à 42 % des consommations totales entre 1990 et 2024.

Figure 19 : Évolution du des combustibles utilisés par les installations de chauffage urbain (périmètre France UE)

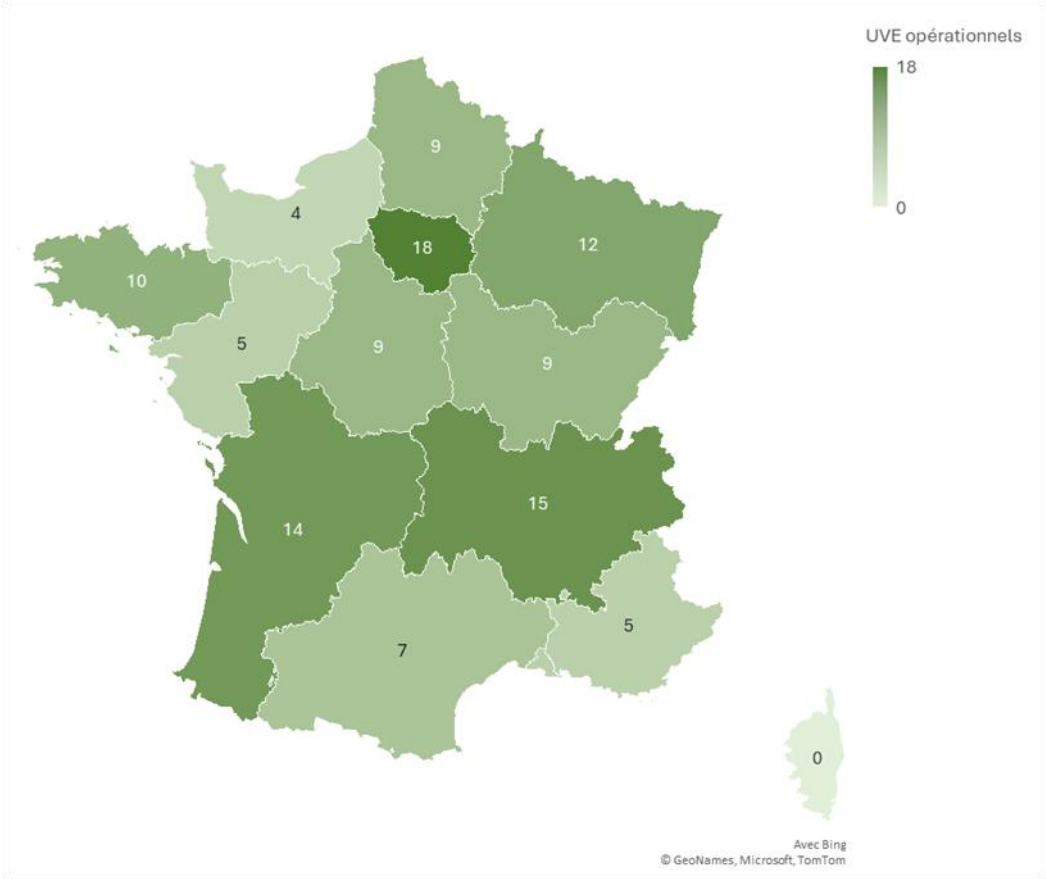


Graph_1A1a_ChaufUrb.xlsx/comb_ChaufUrb Graph_1A1a_ChaufUrb.xlsx/comb_ChaufUrb

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 2024, cette catégorie occupe les 19ème (1,1 % du total national) et 43ème 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 combustibles liquides et gazeux, 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 63 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1b est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A1b - oil	CO_2	19ème	1,1%	13ème	1,7%
1A1b - gas	CO_2	43ème	0,3%	37ème	0,6%

Il y a actuellement 10 raffineries déclarant une activité en France dont une située en Martinique (territoire 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 de la période d'étude.

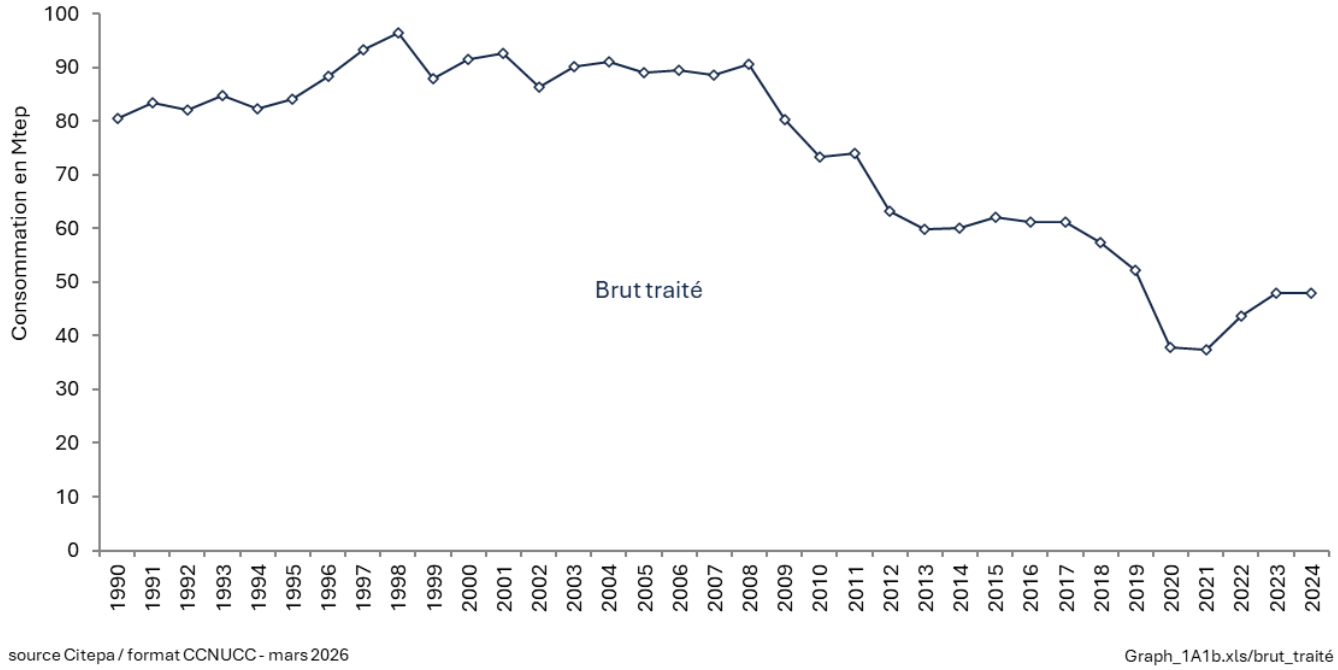
Le site de La Mède a arrêté le traitement du pétrole brut à la fin de l'année 2016 et a été transformé pour créer la première bioraffinerie française afin de répondre à la demande croissante en biocarburants et la future demande en biojet. La production des biocarburants du site de la Mède a démarré 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. Faute de repreneurs, l'exploitant a confirmé la fermeture de la raffinerie mais s'engage à continuer de développer les activités pétrochimiques sur le site,
- 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,
- Enfin en 2016, la raffinerie de Dunkerque (SRD) n'a pas fonctionné et a définitivement fermé ses portes en janvier 2017.

Ces fermetures consécutives expliquent ainsi la baisse de la production de brut traité et raffiné en Hexagone.

Figure 21 : Brut traité dans les raffineries en France hexagonale et Martinique (Périmètre France UE)



En 2024, 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 -22 % entre 2017 et 2024. L'année 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. L'année 2022 a connu une légère reprise, qui s'est poursuivie en 2023 (+29% entre 2021 et 2023), mais qui n'atténue pas la tendance baissière observée sur le long terme. Le niveau de production en 2024 est stable avec celui de 2023.

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.

Cette section concerne uniquement les installations de combustion dans le raffinage du pétrole brut ou de produits partiellement élaborés provenant d'autres raffineries.

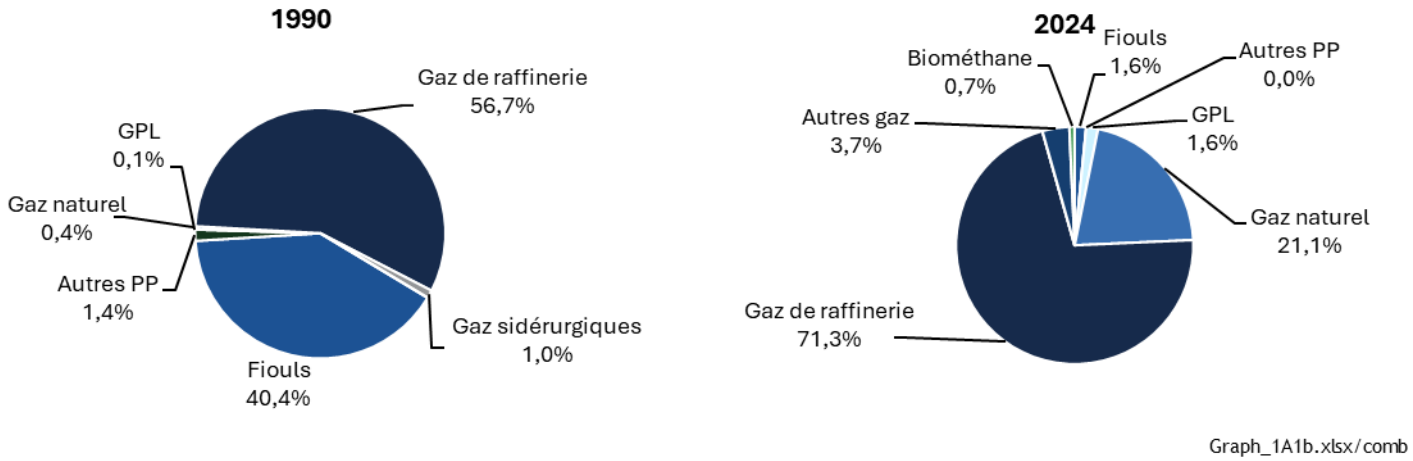
Les émissions issues des procédés du raffinage, notamment le brulage de coke lors de la régénération du craqueur catalytique, sont comptabilisées dans la section « 1B2a_petrol refining » et celles relatives aux torchères dans la section « 1B2c_petrol refining ».

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,

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).Figure 22 : Combustibles consommés pour le raffinage du pétrole (périmètre France UE)



Les estimations sont effectuées pour chaque sous-ensemble de la raffinerie (fours, moteurs fixes, turbines à gaz, chaudières).

A noter que, à partir de l'année 2012, 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 (cf. section générale énergie).

3.2.5.1.3 Transformation des combustibles minéraux solides et Raffinage du gaz (1A1c)

En 2024, cette catégorie occupe le 34ème 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 64 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1c est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A1c - coal	CO_2	34ème	0,5 %	41ème	0,5 %

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.

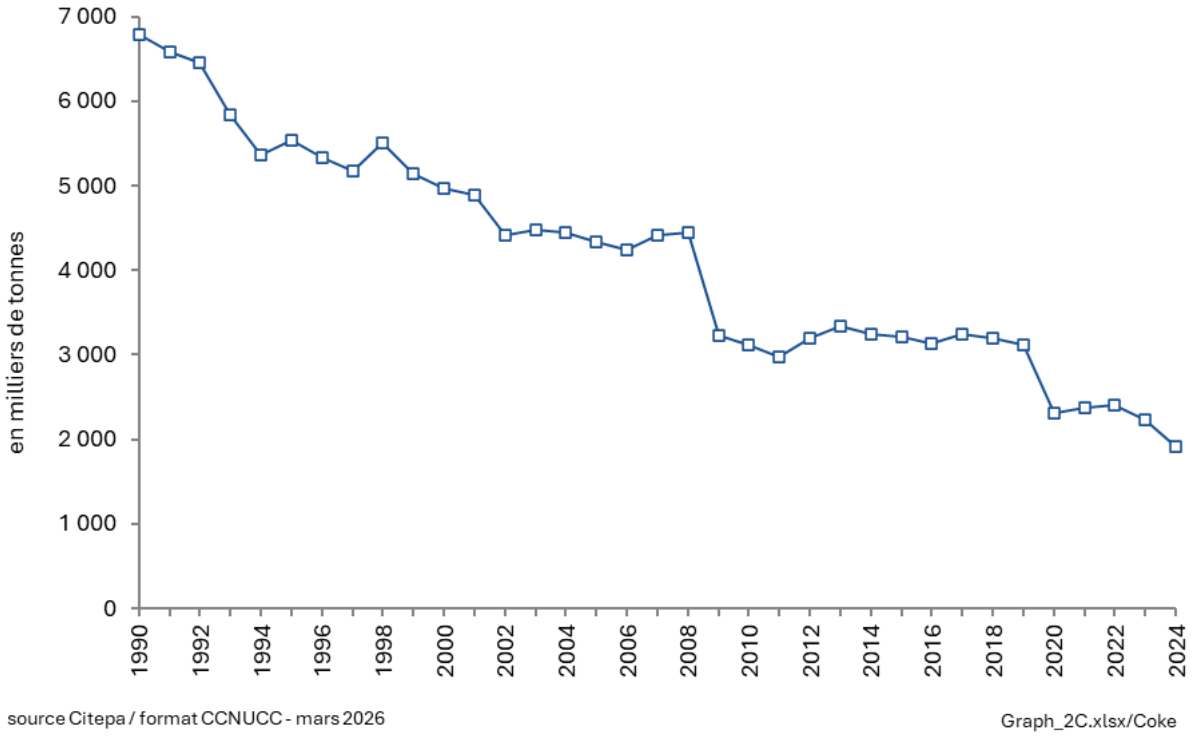
L'activité minière hors cokerie est également rapportée dans cette catégorie. Le dernier bassin a cessé toute exploitation en 2004.

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.

Après une légère reprise suite à la crise sanitaire de 2020, où la production de coke était assez stagnante auparavant, une baisse progressive est observée (-20% entre 2022 et 2024).

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][1365].

Emissions de N_2O

Les facteurs d'émission par défaut du GIEC 2006 [638][1365] 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 générant des émissions directes est relativement modeste (de l'ordre de 2 Mtep, soit un peu plus de 1 % du bilan énergétique national).

La part de biométhane consommé 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 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][1365]. Pour les installations de puissance inférieure à 20MW utilisant de la biomasse solide, les facteurs d'émission du méthane proviennent d'une étude nationale [67].

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][1365].

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

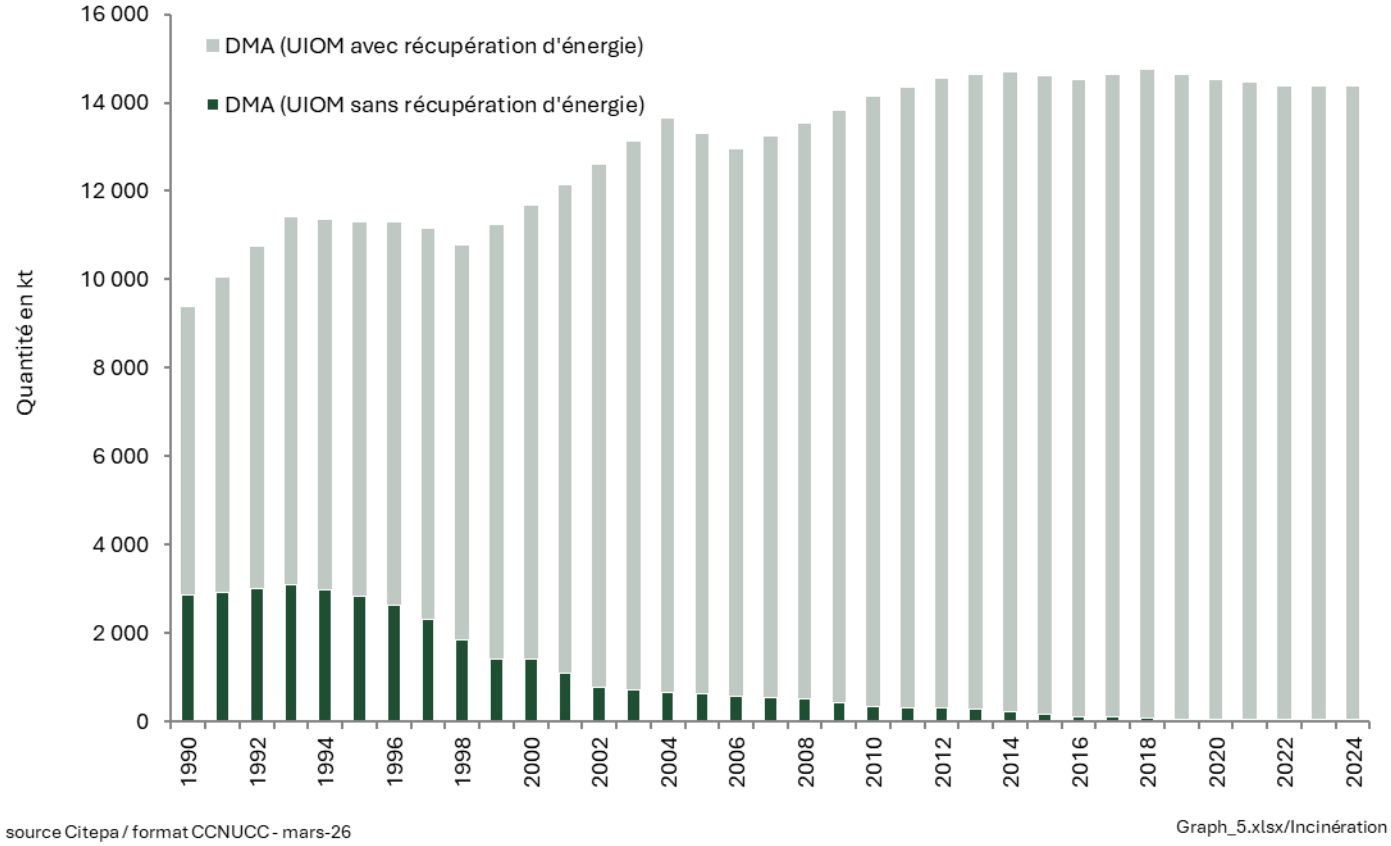
collectés dans le cadre du service public d'élimination des déchets, implantés en Hexagone et dans les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE. Les données collectées sont nombreuses : il s'agit, pour chaque installation, des quantités traitées par type de déchets selon la nomenclature ITOM, de l'énergie 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 hexagonal 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 (Hexagone 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 (CF), 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 (FCF).

$$CO2\ Emissions = MSW * \sum_i (WFi * dmi * CFi * FCFi * OFi) * 44/12$$

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 (CF) 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 pour les territoires hexagonal et ultramarins.

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 65 : 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	2024
FE N_2O	98,4	95,9	58,7	31,3	24,3	18,8

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.

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 d'émission spécifiques, pour une année donnée, les facteurs d'émission moyens par combustible et par site des autres années sont appliqués (notamment avant 2005, où des moyennes des valeurs des années les plus anciennes sont employées) 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 production et transformation du charbon (en lien avec l'activité minière, hors fours à coke) 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. A partir de l'année 2007, la consommation de charbon à coke pour la production de coke réactif au sein de l'une des cokeries minières s'est arrêtée. Cela impacte les émissions du secteur. Pour les deux sites, les consommations de combustibles sont connues pour 2001 pour un site et pour la période 2004-2009 pour l'autre site [19], et ensuite extrapolées en fonction des productions de coke [19, 53].

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 la cokerie, de la chaîne d'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 certains 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 production et 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, du gaz de cokerie est produit et réutilisé en tant que combustible dans les fours à coke, mais également dans différents ateliers sidérurgiques ou il peut encore être vendu à des opérateurs d'autres secteurs (comme la production d'électricité par exemple). Les émissions associées à la combustion de ce gaz en dehors des fours à coke sont alors comptabilisées dans le secteur utilisateur (sidérurgie ou autre). Pour le gaz de cokerie et les autres combustibles consommés dans les fours à coke, les facteurs d'émission sont tirés des teneurs en carbone moyennes (sur 2001-2008) de chaque combustible [27].

Dans le cas des cokeries minières (arrêt de l'activité fin 2009), 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 (de 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'US-EPA 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, issus du GIEC 2006 [638][1365].

Pour la fabrication de coke au sein des cokeries sidérurgiques, les facteurs d'émission sont tirés du GIEC 2006 [638][1365].

Dans le cas des cokeries minières (arrêt de l'activité fin 2009), les facteurs d'émission sont tirés du GIEC 2006 [638][1365].

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][1365].

Dans le cas des cokeries sidérurgiques et minières, les facteurs d'émission sont tirés du GIEC 2006 [638][1365].

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][1365].

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 nationale (cf. section générale énergie) 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 des lignes directrices du GIEC [1376] 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 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 de l'avis d'experts sectoriels. Pour le N_2O, 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 CH_4 et le N_2O 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 en charge de l'environnement (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	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	66 304	55 763	62 467	66 908	60 063	54 722	56 979	55 337	42 059	44 959	48 511	52 444	43 000	41 635	37 221	39 792	40 922	34 017	0
Nouveau	kt CO2e	66 304	55 763	62 468	66 910	60 067	54 727	56 985	55 346	42 069	44 973	48 530	52 465	43 003	41 641	37 197	39 802	41 489	33 729	28 537
Différence	kt CO2e	+0.38	+0.77	+1.5	+1.9	+4.4	+5.1	+5.2	+8.6	+10	+14	+19	+21	+2.9	+6.5	-25	+10	+567	-288	+28 537
	%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	-0.07%	+0%	+1%	-1%	-

Source Citepa / mars_2026 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

Hexagone :

Mise à jour du FE du N_2O pour le bois (NAPFUE 111) : passage de 4 à 7 g/GJ.

Outre-Mer :

Mise à jour des FE du CH_4 et N_2O pour le bois (NAPFUE 111) ce qui a conduit à une baisse des émissions depuis 1998 pour le CH_4 (passage de 30 à 11 g/GJ) et une hausse sur le N_2O (passage de 4 à 7 g/GJ).

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude des données.

Production centralisée de chaleur (1A1a)

Description des recalculs

Données d'activité : Ajustement à la baisse de consommation de gaz naturel (NAPFUE 301 -140 GJ) d'une GIC en 2017 : impact sur l'ensemble des GES. Changements à la hausse marginaux en 2020 et 2021.

Mise à jour du bilan énergétique national sur le secteur de la production centralisée de chaleur hors chauffage urbain (Rubric N35) :

- Baisse de la consommation naturel (NAPFUE 301) sur 2018-2021 (entre -320 et -850 TJ selon les années) et 2023 (-200 TJ), hausse sur 2022 (+9 800 TJ) ;
- Très légère hausse de la consommation de charbon (NAPFUE 102) en 2022, baisse de 3 280 TJ en 2023 (disparition).

CO_2 : ajustements marginaux sur le % biométhane en 2021 et 2022.

CH_4 : alignement du FE CH_4 NAPFUE 111, passage de 30 à 11 g/GJ pour les installations de puissance supérieure à 20 MW. Impact à la baisse sur toute la période.

N_2O : alignement du FE N_2O du NAPFUE 111 également : passage de 4 à 7g/GJ pour les installations de puissance supérieure à 20 MW : impact à la hausse sur toute la période.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude des données.

UIDND avec récupération d'énergie (1A1a)

Description des recalculs

Pas de recalcul.

Raison et justification

NA

Raffinage du pétrole (1A1b)

Description des recalculs

Recalculs mineurs sur 2019-2023 avec l'ajout de consommations de gazole et essence pour des moteurs non déclarés dans GEREP mais seulement dans l'ETS et, principalement, la prise en compte des émissions déclarées de N_2O pour la turbine à gaz : +2 à +8 kt CO_2e au total, donc marginal.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude des données.

Transformation des combustibles minéraux solides (1A1c)

Description des recalculs

Les facteurs d'émissions CO_2 du gaz naturel (NAPFUE 301) et du fioul lourd (NAPFUE 204) ont été révisé légèrement sur la période 1990 à 2008.

Raison et justification du recalcul

Amélioration de l'exactitude des données.

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.

Par ailleurs, les émissions de N_2O de la production de charbon de bois (1A1c) n'est pour l'heure pas estimée dans les territoires outre-mer, il est prévu de l'ajouter pour la prochaine soumission.

3.2.6 Industrie manufacturière (1A2)

3.2.6.1 Caractéristiques de la catégorie

En 2024, pour la France au périmètre UE, l'industrie manufacturière (CRT 1A2), du fait des émissions de CO_2, apparaît 9 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 60 catégories clés recensées. Les différentes catégories clés (hors UTCATF) en termes de niveau d'émissions et d'évolution des émissions sont les suivantes :

Tableau 66 : Substances pour lesquelles le secteur 1A2 est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A2g – other	CO_2	9ème	2,3%	58ème	0,3%
1A2e – gas	CO_2	15ème	1,6%	14ème	1,6%
1A2c – gas	CO_2	20ème	1,0%	-	-
1A2f - gas	CO_2	21ème	1,0%	33ème	0,6%
1A2f - oil	CO_2	31ème	0,5%	22ème	1,2%
1A2d – gas	CO_2	36ème	0,5%	-	-
1A2a – gas	CO_2	37ème	0,4%	-	-
1A2a – coal	CO_2	38ème	0,4%	31ème	0,7%
1A2c - oil	CO_2	39ème	0,4%	27ème	0,9%
1A2f – coal	CO_2	-	-	21ème	1,2%
1A2e – oil	CO_2	-	-	30ème	0,7%
1A2e - coal	CO_2	-	-	34ème	0,6%
1A2a – oil	CO_2	-	-	40ème	0,5%
1A2d – oil	CO_2	-	-	46ème	0,4%
1A2f – other fossil fuels	CO_2	-	-	47ème	0,4%
1A2d – coal	CO_2	-	-	50ème	0,3%
1A2c – coal	CO_2	-	-	51ème	0,3%
1A2c – other fossil fuels	CO_2	-	-	52ème	0,3%
1A2b – coal	CO_2	-	-	54ème	0,3%

En considérant uniquement les différentes sources clés cumulées, la combustion dans l'industrie manufacturière contribue en 2024, par le CO_2 émis, à 8,1 % 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 67 : Consommation d'énergie finale dans les sous-secteurs de l'industrie manufacturière par type de combustible en 1990 et 2024 – périmètre UE

source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 — energie_industrie.xlsx/Energie finale

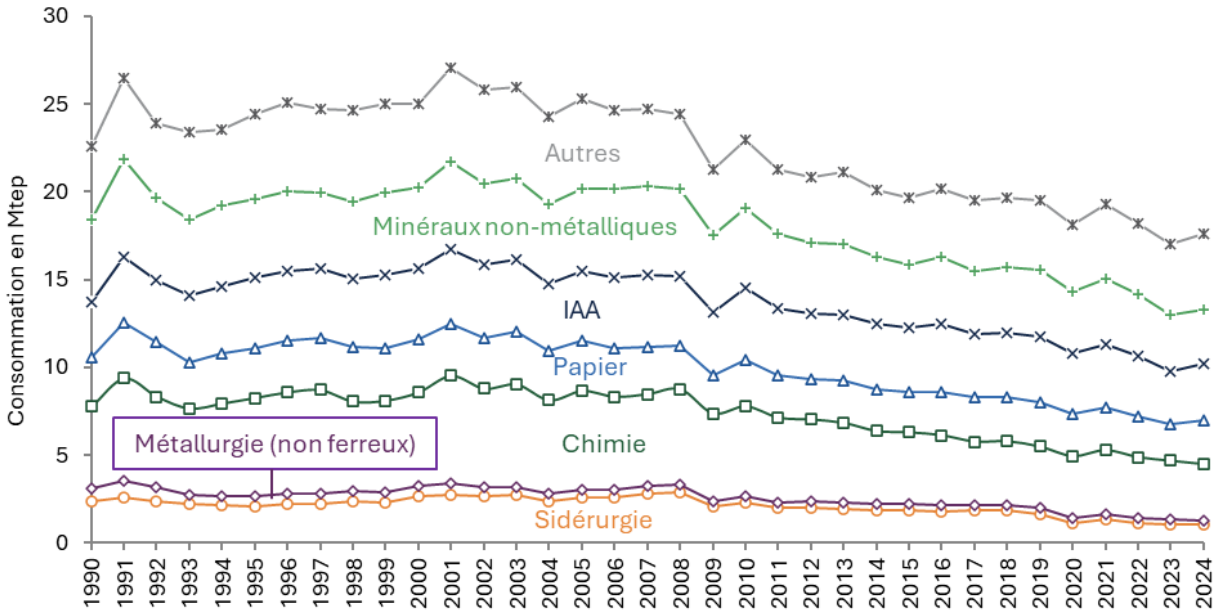
INDUSTRIE[1] en Mtep	1990					2024				
	Liquides	Solides	Gaz naturel	Biomasse	Autres	Liquides	Solides	Gaz naturel	Biomasse	Autres
Sidérurgie (1A2a)	0.5	0.7	1.2	-	0.0	0.0	0.2	0.7	0.1	0.0
Métallurgie (non ferreux) (1A2b)	0.2	0.2	0.3	-	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
Chimie (1A2c)	1.5	0.5	2.4	0.0	0.1	0.6	0.2	1.6	0.4	0.4
Papier (1A2d)	0.4	0.3	0.9	1.3	0.0	0.0	0.0	0.7	1.7	0.0
IAA (1A2e)	1.0	0.5	1.5	0.2	0.0	0.2	0.0	2.4	0.5	0.0
Minéraux non-métalliques (1A2f	1.9	1.2	1.5	0.1	0.1	0.5	0.2	1.5	0.6	0.3
Autres (1A2g) - tous combustible			4.2					4.4		
TOTAL			**22.6**					**17.6**		

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

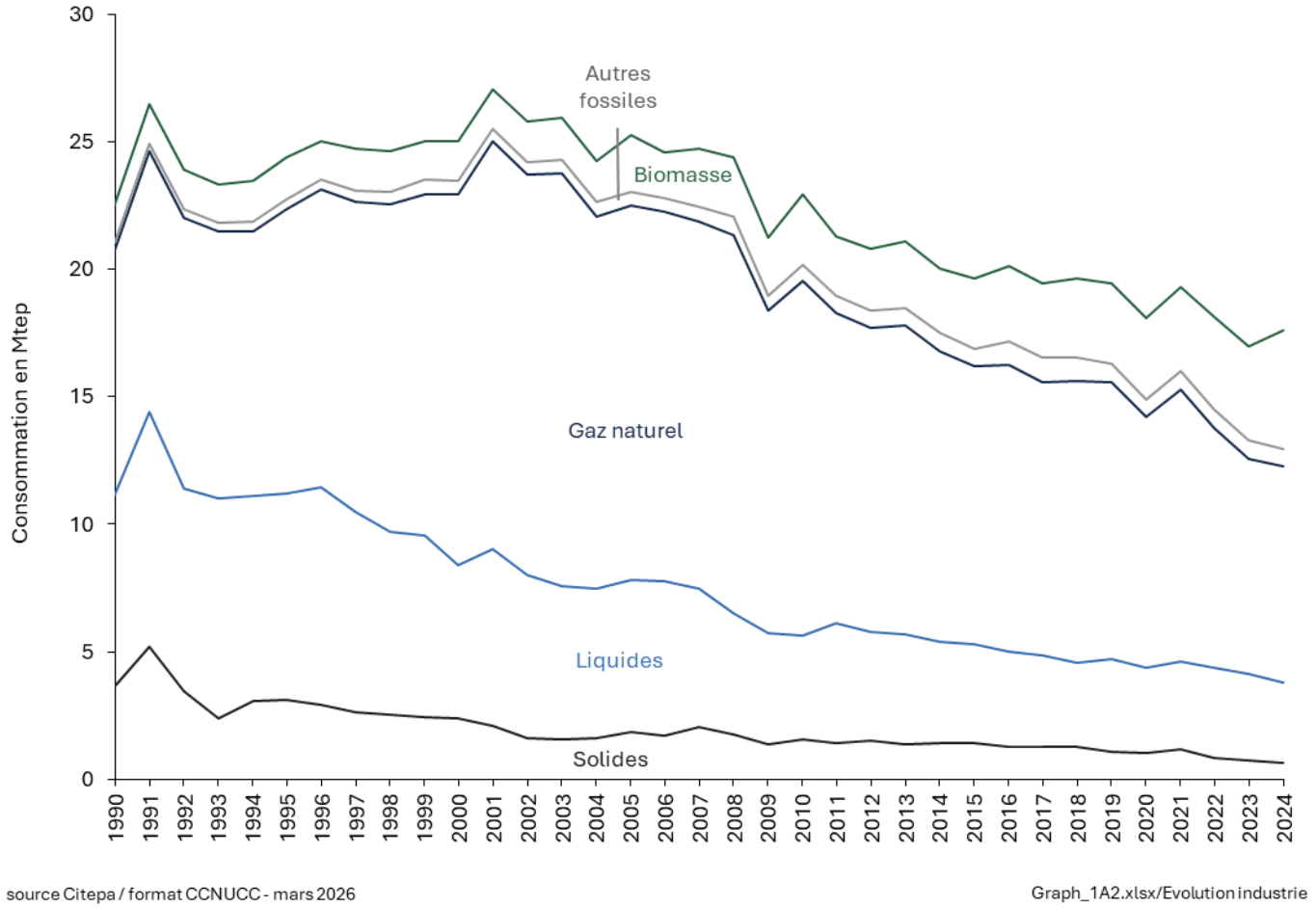
Les figures suivantes montrent d'une part l'évolution sur la période 1990-2024 des consommations de combustibles totales (-22 % au total, tous combustibles et secteurs confondus) des différentes sous-catégories de l'industrie manufacturière pour la France au périmètre UE et, d'autre part, les consommations 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 2026 — 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)



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 2024 (-22 %), 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 (+6,5 % 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 (-6,0 % comparé à 2021). Entre 2022 et 2023, la baisse initiée entre 2021 et 2022 se poursuit (-6,4%). Après avoir atteint en 2023 son niveau le plus bas de toute la série temporelle, un nouveau regain des consommations d'énergie finale de l'industrie est observé en 2024, avec une augmentation de 3,7% comparé à 2023. La structure énergétique, quant à elle, montre une tendance à un recours plus important au gaz naturel (43% en 1990 contre 48% en 2024) et à la biomasse (7% en 1990 contre 26% en 2024), au détriment des combustibles liquides (33% en 1990 contre 18% en 2024) et solides (16% en 1990 contre 4% en 2024). Ce changement de structure a permis notamment de diminuer les émissions de CO_2 du secteur sur la période.

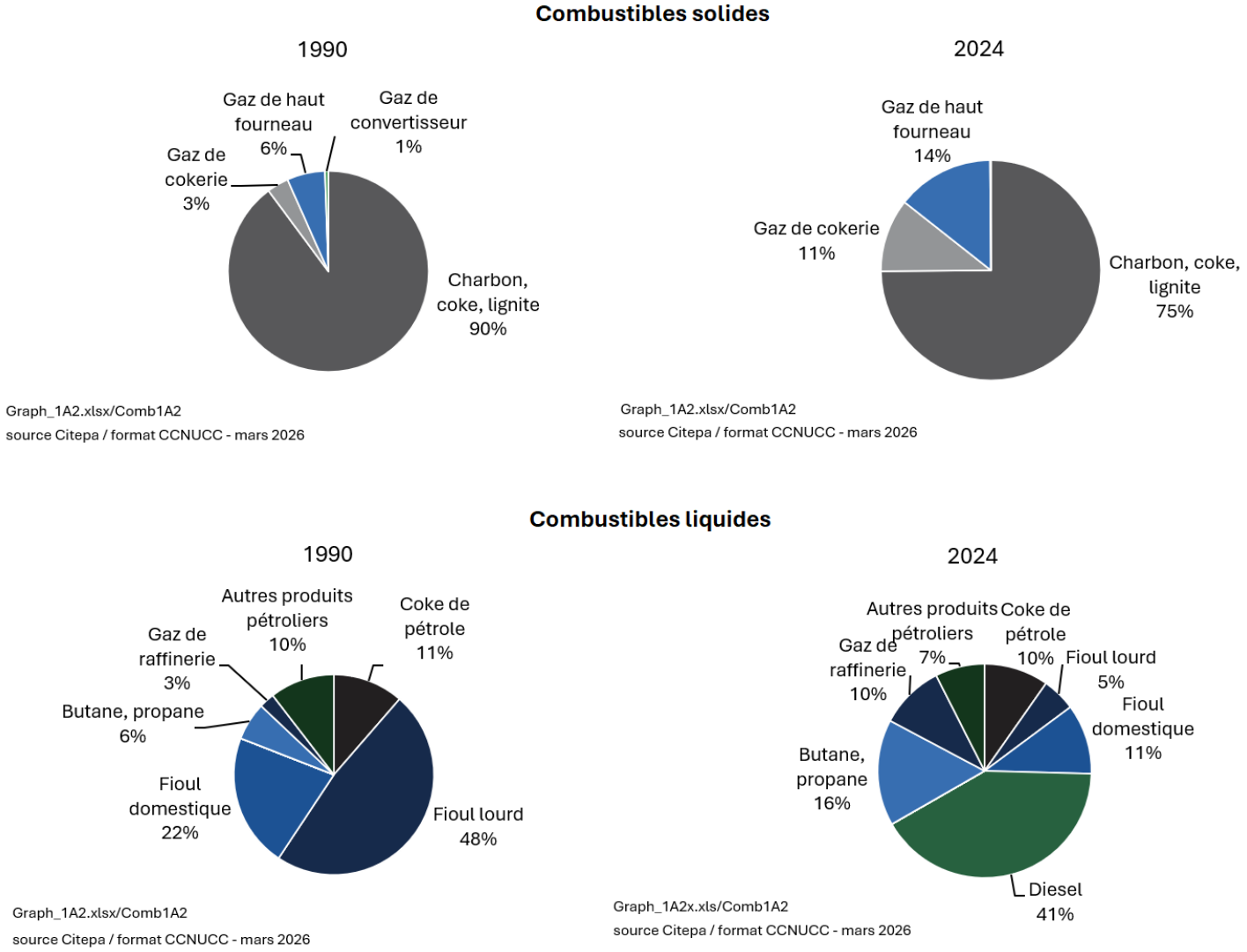
Une légère chute de la production des installations sidérurgiques en 1993 explique la baisse des consommations de combustibles solides cette année-là.

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 5 % en 2024, qui s'est fait substituer 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 2024,

- 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).

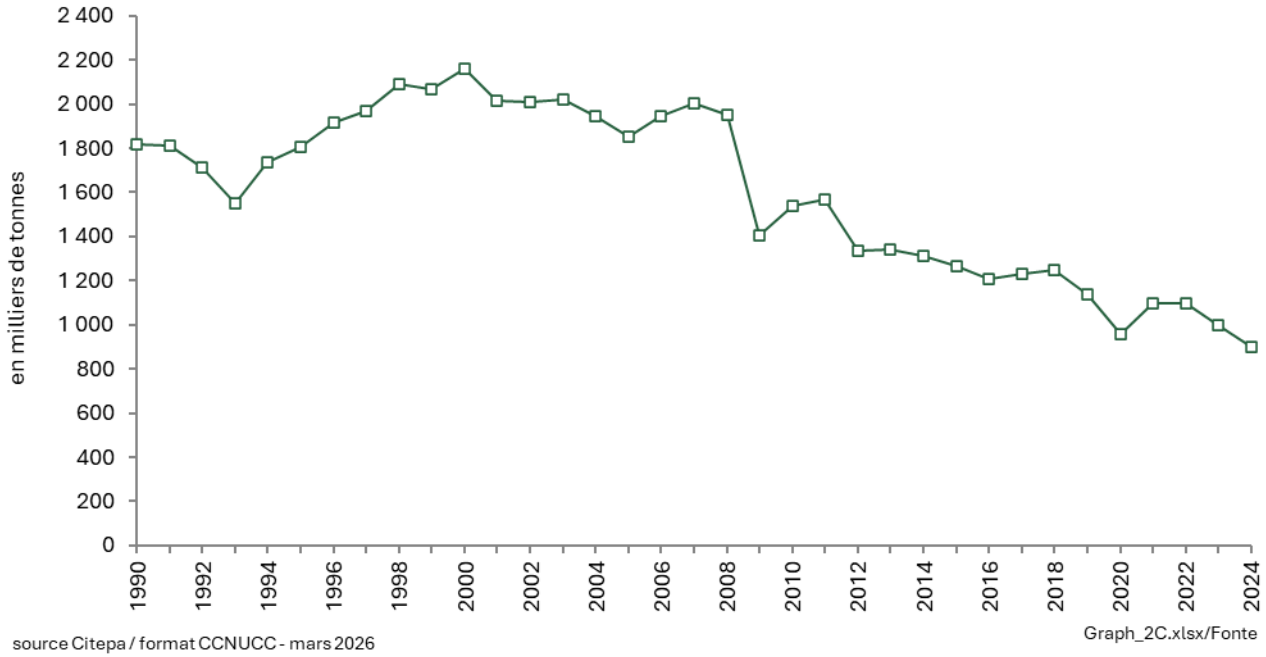
Ces deux types de fonte servent à la fabrication de fonte hydraulique et de bâtiment, fonte sur modèle ou fonte sur album (selon le cahier des charges attendu par le client). La fonte est un alliage de fer et de carbone, contenant

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 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

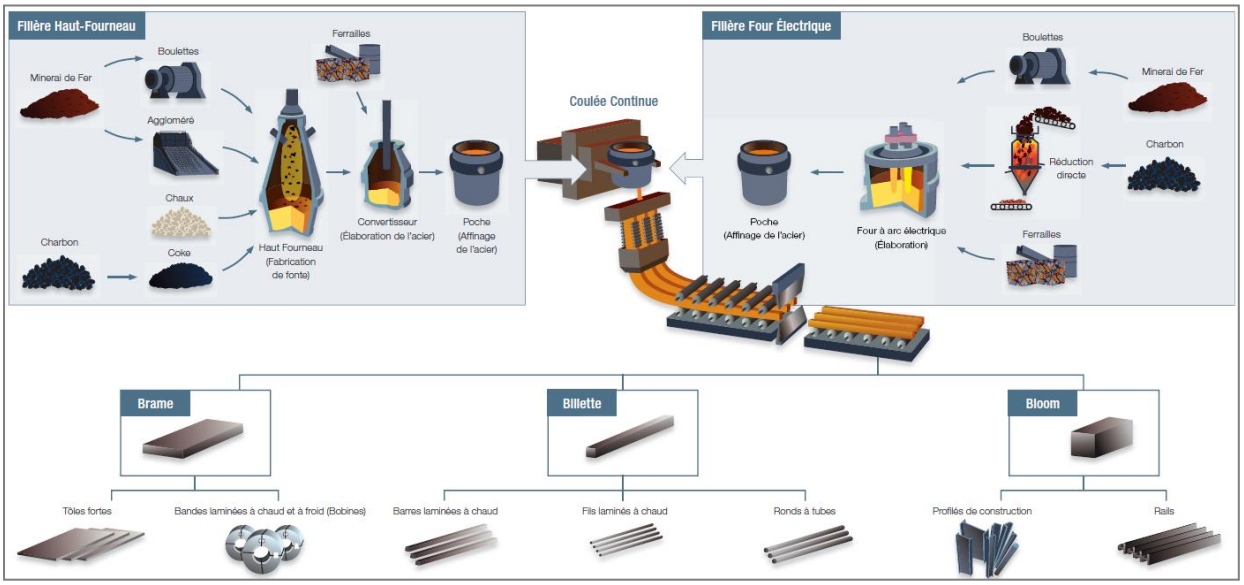
Les activités traitées dans cette section concernent la consommation de combustibles des ateliers sidérurgiques (émissions liées à la combustion).

- 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 ou chaîne d'agglomération 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.

<u>a/ Production de cuivre de première fusion :</u>

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.

<u>b/ Production de cuivre de seconde fusion :</u>

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.

<u>a/ Première fusion</u>

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 : $MgO + R \rightarrow RO + Mg$.

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].

<u>b/ Seconde fusion</u>

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), celui-ci a cessé son activité depuis 2021. Le plomb et le zinc de première fusion sont traités dans la section « Production de plomb et zinc de première fusion » (1A2b).

<u>a/ Plomb de seconde fusion</u>

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.

<u>b/ Zinc de seconde fusion</u>

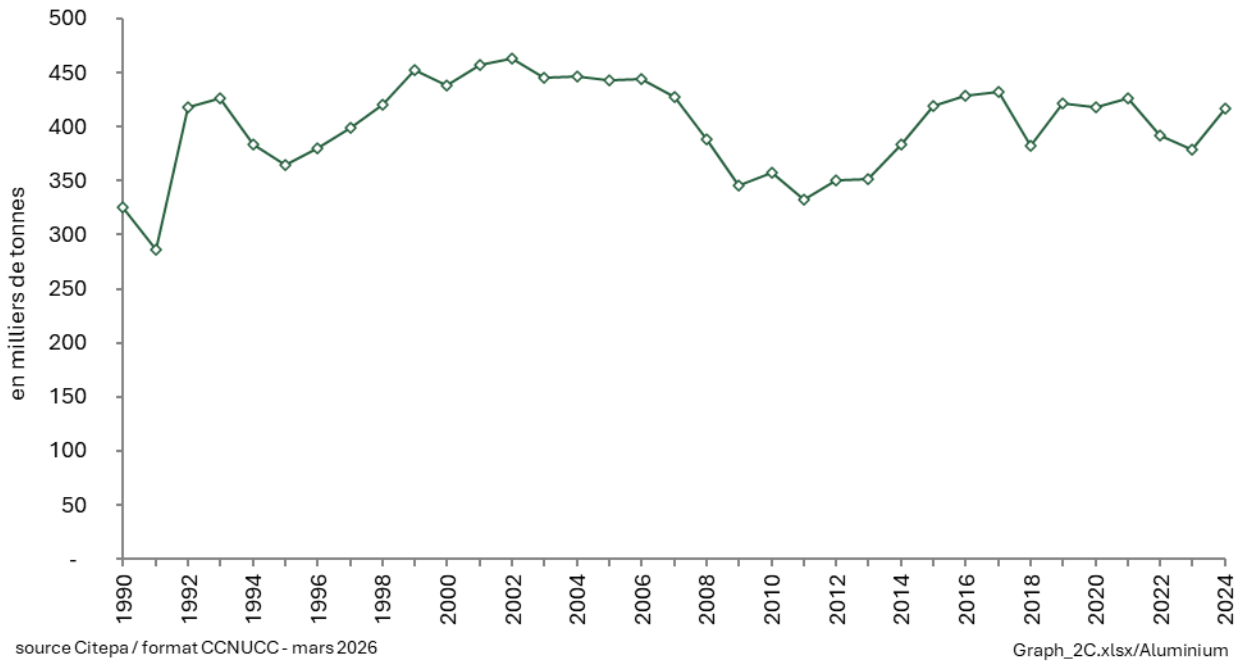
La récupération du zinc, dans les déchets métalliques ou vieux zinc, était nettement moins importante que pour les autres métaux (autour de 10 % de la production de zinc raffiné). Elle était, de plus, difficile à cerner autant du point de vue quantitatif, à cause de la réutilisation directe du zinc usagé 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 Hexagone.

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 Hexagone.

3.2.6.1.4 Industrie agro-alimentaire (1A2e)

Production de produits de fourrage vert déshydratés

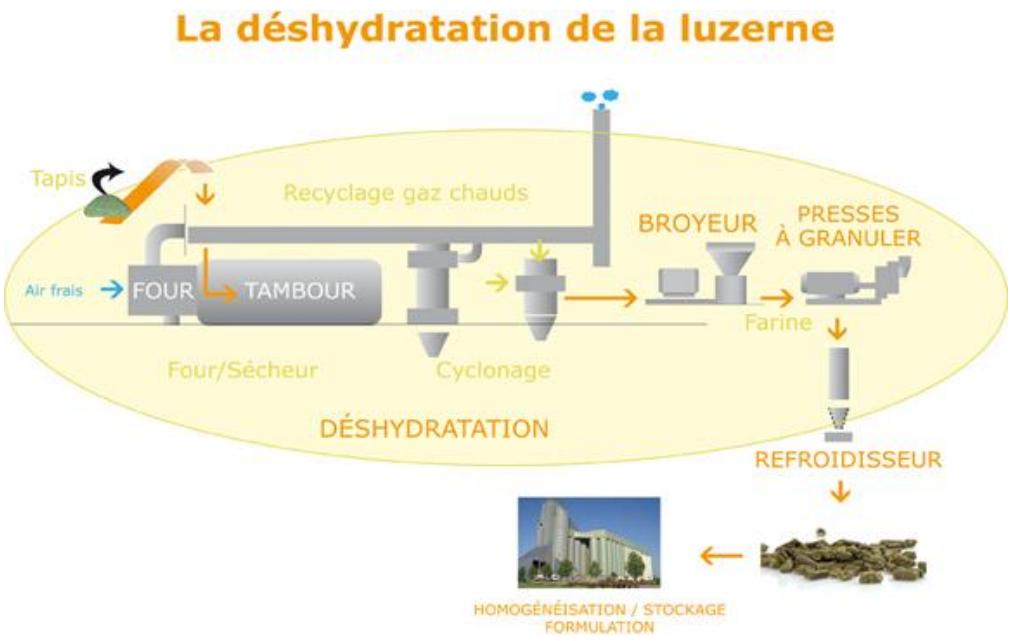
La déshydratation de fourrage vert permet de produire des aliments pour animaux (ruminants mais aussi chevaux, lapins, volailles, …).

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 24 en 2024.

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 4 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 hexagonale.

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 industriels sont utilisées pour déterminer les niveaux de production.[19]

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]. En 2024, ces données n'ont pas été communiquées par la Fédération des Industries du Verre. Les déclarations individuelles des industriels ont donc été utilisées afin de déterminer les niveaux de production. [19]

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]. En 2023 et 2024, ces données n'ont pas été communiquées par la Fédération des Industries du Verre. Les déclarations individuelles des industriels ont donc été utilisées afin de déterminer les niveaux de production. [19]

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]. En 2024, ces données n'ont pas été communiquées par la Fédération des Industries du Verre. La méthode utilisée en 2014 et 2015 est donc appliquée.

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.

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., tout paramètre influent 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.

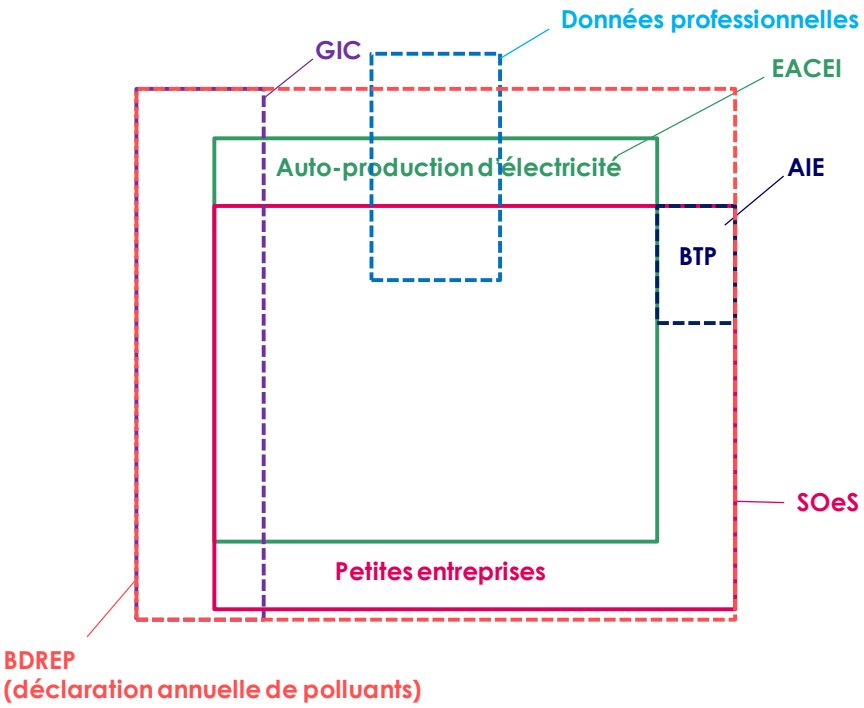


Figure 32 : Périmètres des sources relatives aux bilans énergétiques

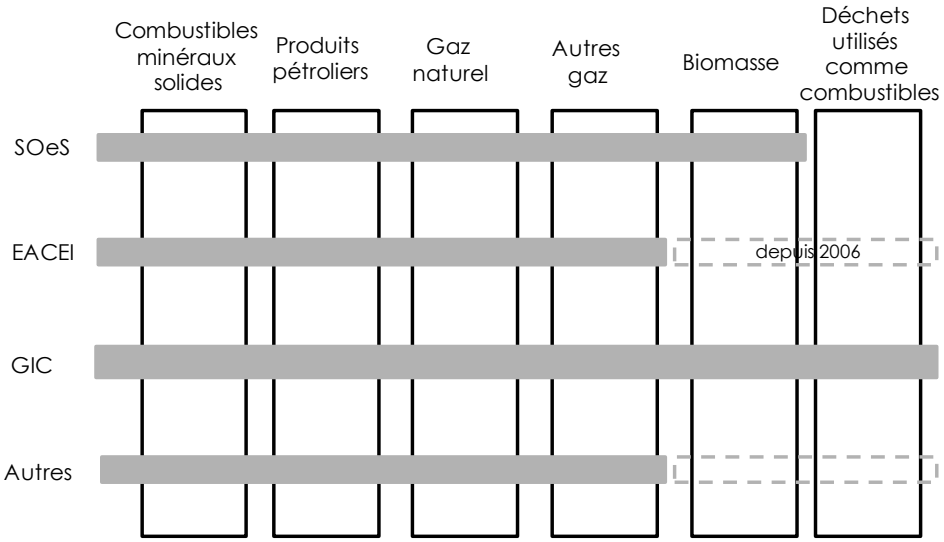


Figure 33 : Périmètres relatifs aux combustibles dans les bilans énergétiques

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 68 : 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[20]	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.

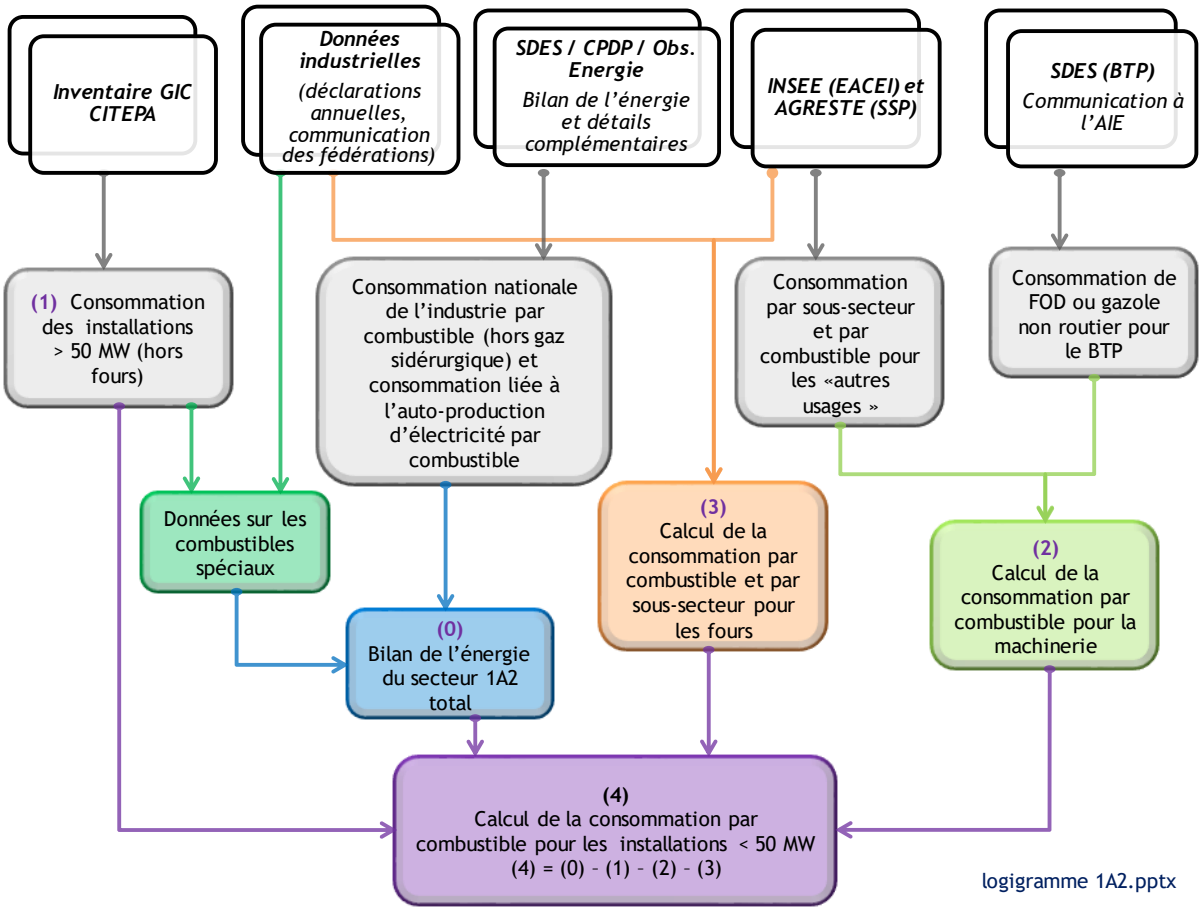
Le logigramme ci-après décrit les différentes phases de traitement de l'information qui aboutissent :

- 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[21] (SNAP 0303xx) qui servent de données d'activité.

Figure 34 : Logigramme du processus d'estimation des consommations d'énergie en France métropolitaine

[20] y compris Imprimerie.

[21] 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.



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.
- 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 [638, 1365].

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 69 : 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, puis par extrapolation des variations de l'indice de production de la fonte fourni par l'INSEE depuis 2017) 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 et du type de combustible utilisé.

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 2C1) 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 1A2a). En découlent des gaz de haut-fourneau issus de la transformation des matières premières, qui sont en partie réutilisés comme combustibles (apport énergétique) au sein du site intégré (cela peut être aussi dans les fours à coke, en 1A1c). Les émissions des gaz de haut-fourneau non valorisés et issues de la transformation des matières premières (fuites ou torchage) 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

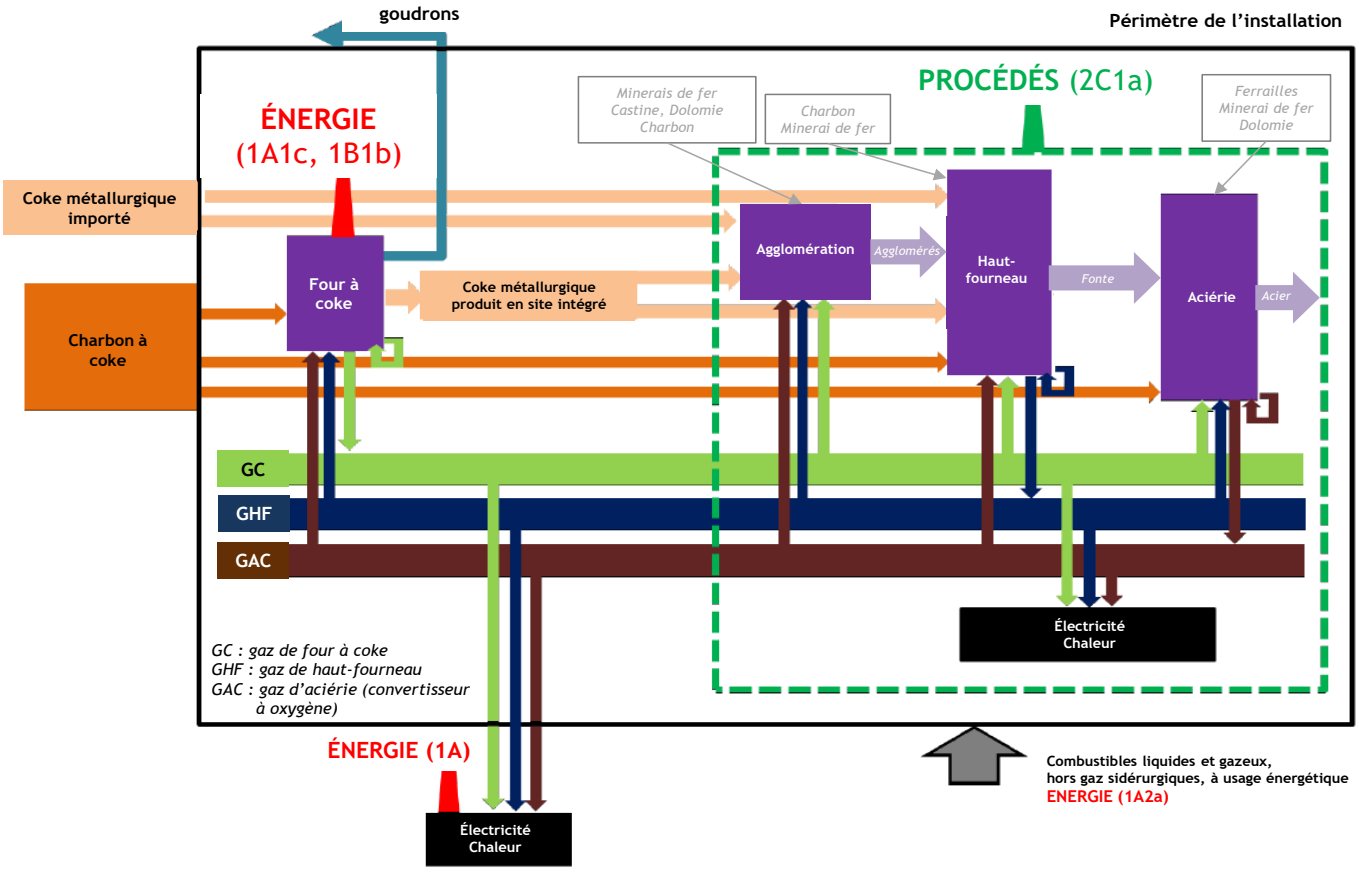


Schéma tiré des Lignes directrices du GIEC – Refinement 2019 (V3_CH04_Figure 4.8d), et adapté à la situation française.

Emissions de CO_2

Concernant les émissions de CO_2, les consommations de combustibles solides et de gaz sidérurgiques au sein des ateliers sidérurgiques, hors GIC (grande installation de combustion) et fours à coke, sont considérées comme non-énergétiques et donc allouées au secteur CRT 2C1, conformément aux lignes directrices du GIEC 2006 [953] (cf. schéma ci-dessus et section « 2C1 - iron and steel » pour leurs estimations). Les consommations de gaz sidérurgiques dans les GIC sont bien allouées aux émissions énergétiques (i.e., au CRT 1A2a). Les émissions liées aux fours à coke sont allouées au CRT 1A1c (cf. schéma ci-dessus). Les consommations de gaz naturel et produits pétroliers des divers ateliers sidérurgiques sont bien allouées aux émissions énergétiques (CRT 1A2a), conformément aux lignes directrices du GIEC 2006 [953] (cf. schéma ci-dessus).

Il convient de noter que des émissions de CO_2 sont estimées pour des consommations de combustibles solides pour des productions du CRT 1A2a hors ateliers sidérurgiques (e.g., forges), provenant des données du bilan de l'énergie du SDES [1] (cf. section « 1A2 - Industrie manufacturière (combustion) »).

Les émissions énergétiques de CO_2 des gaz sidérurgiques des GIC sont estimées en fonction des quantités de gaz brûlés dans les différentes installations selon les déclarations des exploitants [19] et des facteurs d'émission, également déclarés [19], entre les années 2015 et 2017 (premières années où le CO_2 était déclaré dans le SEQE pour ces combustibles).

Les émissions énergétiques de CO_2 de la combustion des produits pétroliers et du gaz naturel dans les ateliers sidérurgiques sont estimées en fonction des consommations de chacun des ateliers (cf. section précédente) et des teneurs en carbone moyennes fournies par la fédération entre 2001 et 2008 [27].

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) et les données spécifiques pour les sites sont utilisées [19]. Cependant, celles-ci ne nous permettent pas de distinguer les consommations et émissions par atelier sidérurgique

(dont les fours à coke), c'est pourquoi les émissions énergétiques sont calculées selon les statistiques de la fédération [27] (approche top-down). Les émissions totales du secteur de la sidérurgie (CRT 1A1c, 1A2a et 2C1) sont toutefois cohérentes avec le SEQE [19] car celles-ci sont considérées pour la partie procédés (cf. section « 2C1 – iron and steel » pour voir la méthodologie globale sur le CO_2 du secteur sidérurgique global).

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]. A partir de 2013, bien que ces données soient disponibles auprès de la coopérative, pour les sites soumis au système d'échange de quotas d'émissions les données de production proviennent des déclarations annuelles des exploitants [19], afin d'assurer une cohérence avec les consommations d'énergie. 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	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	64 530	67 981	66 668	65 390	56 049	53 165	51 661	51 537	49 259	47 851	47 654	45 810	45 939	45 115	41 161	44 275	40 159	36 584	35 414
Différence	kt CO2e	+185	+236	+511	+545	+550	+274	+229	+638	+968	+728	+910	+1 174	+1 517	+1 885	+1 565	+1 767	+1 104	+649	+35 414
	%	+0%	+0%	+1%	+1%	+1%	+1%	+0%	+1%	+2%	+2%	+2%	+3%	+3%	+4%	+3.95%	+4%	+3%	+2%	-

Source Citepa / mars_2026 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 2011-2023, avec notamment :

- des variations non significatives de la consommation de biogaz entre 1990 et 2013, puis une hausse significative et croissante de la consommation de biogaz de 2014 (+380 TJ) à 2023 (+6 300 TJ) (révision méthodologique),

- une baisse de la consommation de fioul lourd entre 2011 et 2016 (entre – 420 TJ et – 6 110 TJ selon les années, sauf 2014) puis des variations non significatives de 2017 à 2023,

- une hausse significative de la consommation de fioul domestique sur la période 2018-2023 (entre +570 TJ et +4 700 TJ selon les années) (transfert depuis le tertiaire 1A4ai),

- une hausse de la consommation de gaz de pétole liquéfié entre 2011 et 2020 (hausse décroissante, entre +6 500 TJ et +380 TJ selon les années), puis une baisse en 2021 (-960 TJ), 2022 (-120 TJ) et 2023 (- 2 800 TJ).

- une hausse de la consommation de gaz naturel énergétique entre 2018 et 2021 (entre +840 TJ et +15 300 TJ selon les années), suivie d'une baisse en 2022 (- 6 800 TJ) et en 2023 (- 6 200 TJ),

- des variations non significatives de la consommation de biomasse solide sur 2012-2016 et 2018-2022, interrompues par une hausse de la consommation en 2011 (+ 3 700 TJ), en 2017 (+ 780 TJ) ainsi qu'en 2023 (+ 514 TJ).

Par ailleurs, des transferts de consommation de gaz naturel ont été effectués entre secteurs en lien avec des révisions du bilan énergétique ou bien des changements méthodologiques, sur 1990-2023 :

- un transfert de consommation de gaz naturel depuis le secteur tertiaire vers l'autoproduction d'électricité dans l'industrie a été effectué sur 1990-2023, d'après les données du bilan de l'énergie. Entre 1300 et 13 200 TJ ont été transférés de 1A4ai vers 1A2 sur 1990-2017, soit un transfert d'émissions de 71 à 746 kt CO_2 de 1A4ai vers 1A2. Ces recalculs sont également visibles au niveau de la catégorie « gaseous fuel » du 1A4ai. Sur 2018-2023, ces recalculs sont altérés par les révisions du bilan énergétique,

- une révision à la baisse des données de production d'hydrogène sur 1990-2006, et donc de consommation de gaz naturel sur cette période. Cela entraîne un transfert de consommation de gaz naturel de 150 à 200 TJ de 2B10 vers 1A2c sur 1990-2006. En termes d'émissions de CO_2, cela induit le transfert d'émissions de 2B10 vers 1A2c, de 8 à 16 kt CO_2 sur 1990-2006. Ces recalculs sont visibles également au niveau du 2B10,

- des consommations de gaz naturel ont été transférées de 1A2c vers la production d'hydrogène sur 2007-2023 car celui est consommé dans les réformeurs et est donc désormais comptabilisé dans le procédé, conformément aux lignes directrices du GIEC. Cela entraine un transfert des consommations de gaz naturel de 1A2c vers 2B10 sur 2007-2023 (entre 1100 et 2500 TJ selon les années). Soit pour les émissions de CO_2 des transferts de 1A2c vers 2B10 : entre 64 et 142 kt sur 2007-2023. Ces recalculs sont visibles également au niveau du 2B10,

- enfin, des consommations de gaz naturel ont été transférées de CRT 2B8f (noir de carbone) vers le 1A2c, car l'utilisation est désormais considérée comme énergétique : 2000 TJ environ sur 1990-2008, puis 1000 TJ environ sur 2009-2023, soit un transfert d'émissions de CO_2 de 2B8f vers 1A2c : 131 kt à 123 kt sur 1990-2008, puis de 53 kt à 47

kt sur 2009-2023. Ces recalculs ne sont pas visibles au niveau du 2B8f car compensés au total du 2B8f par un transfert de gaz résiduaires de 1A2c vers 2B8f.

Ensuite, le calcul des consommations de gaz naturel et biométhane a été révisé pour mieux considérer les consommations de biométhane des fours des procédés, ce qui a conduit à une légère baisse de la consommation de gaz naturel pour la SNAP 030103. Par ailleurs, le taux de biométhane dans le réseau a été très légèrement révisé sur les années 2022 et 2023 (voir section générale énergie).

Les consommations de certains sites GIC ont également été révisées à la marge.

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 transfert de consommation de gaz résiduaires pour la production de noir de carbone vers la chimie (2B8f), et à la suite de suppression de consommations de biogaz qui étaient en réalité des consommations de gaz de réseau couvertes par des garanties d'origines (faible impact).

Concernant les facteurs d'émissions, les modifications suivantes ont été effectuées :

- Révision à la baisse du FE CH_4 de la combustion de biomasse : de 30 à 11g/GJ
- Révision à la hausse du FE N_2O de la combustion de biomasse : de 4 à 7 g/GJ
- Révision à la légère baisse du FE CO_2 de la combustion de coke de pétrole sur la période 1990-2023
- Révision à la marge du FE de certains combustibles spéciaux (non inclus dans le bilan de l'énergie) pour certaines années : cela concerne les combustibles « autre biomasse liquide » (en 2022 et 2023) et biogaz (2020 à 2023), et fait suite à des transferts de sites des GIC vers non-GIC ou à des transferts de consommations de biogaz en consommations de gaz naturel.

La combinaison des transferts de consommation de gaz naturel décrits plus haut impacte particulièrement le secteur 1A2c (30 à 25% des consommations de gaz naturel de l'industrie sont attribués à la chimie selon les années), avec des recalculs de +134 à +326 kt CO_2 dans la catégorie « 1A2c-gaseous fuel » sur la période 1990-2010. A partir de 2011, d'autres modifications comme les transferts en CRT 2B mentionnés ci-dessus viennent compenser cette hausse, ainsi que les révisions du bilan énergétique à partir de 2018.

- Sources mobiles :

Pour le secteur du BTP, les consommations de gazole ont été revues à la hausse sur 2011-2023 (entre +95 kt et +421 kt selon les années) suite à la mise à jour du bilan de l'énergie.

- *Sources spécifiques 1A2 :*

- Fonderie de fonte : Variations entre -3% et -9% des émissions de GES de la filière sur la période 2017-2023 (entre -5 et -19 kt CO_2e), liées à une mise à jour des niveaux d'activités ;
- Production d'acier :RAS ;
- Déshydratation de luzerne :

- ajout d'un calcul des émissions de CO_2 pour 4 sites non soumis à déclaration pour les années 2022 et 2023 (impact à la hausse des émissions de CO_2). En parallèle, les consommations et émissions de deux sites ayant déclaré un arrêt de l'atelier de déshydratation (l'un en 2022 et 2023, l'autre en 2023) ont été supprimées pour les années concernées (impact à la baisse sur l'ensemble des GES). Des corrections de consommations d'énergie ont été effectuées à la marge pour certains sites de 2018 à 2023 ;

- changement des FE de la combustion de biomasse solide : CH_4 de 30 à 11 g/GJ, et N_2O de 4 à 7 g/GJ, qui se compensent légèrement et entraînent des recalculs en hausse entre +0,1 et + 2 kt CO_2e

- Email : RAS ;
- Cuivre : RAS ;

- Magnésium : RAS ;
- Plomb et de zinc de première fusion : RAS;
- Plomb et zinc de seconde fusion :RAS;
- Aluminium secondaire : RAS ;
- Céramiques : révision à la hausse des émissions de GES pour 2022 et 2023 en lien avec la mise à jour de la donnée d'activité (impact d'environ 5 kt).
- Verre : Recalculs mineurs (< à 1 kt CO_2e au total)

  Toutes SNAP confondues : corrections mineures de la part de biométhane dans le gaz de réseau pour l'année 2022 et 2023.

  SNAP 030314 (verre plat) : Correction des consommations et des émissions de fioul domestique d'un site en 2022 et 2023.

  SNAP 030316 (fibre de verre) : Correction des consommations et des émissions de combustible de trois sites en 2023.

  SNAP 030318 (laine de roche) : Correction des consommations et des émissions de combustible d'un site en 2022.

- Ciment : RAS.
- Tuiles et briques : RAS.
- Chaux : Léger recalcul (< 1% des émissions sectorielles) sur la période 2013-2023, en raison d'une correction sur la prise en compte du taux de biométhane.
- Plâtre : RAS.
- Enrobage routier : légère variation des émissions de CO_2 sur 2021-2023 (< 0,01 kt CO_2e) suite à une correction du facteur d'émission du fioul domestique.

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.

Pour la production de verre, une revue des niveaux de production historiques et de la liste des sites de production de verre par SNAP est prévue, grâce aux informations fournies par l'Institut du verre (fédération professionnelle des producteurs de verre).

3.2.7 Transports (1A3)

3.2.7.1 Caractéristiques de la catégorie

En 2024, 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 :

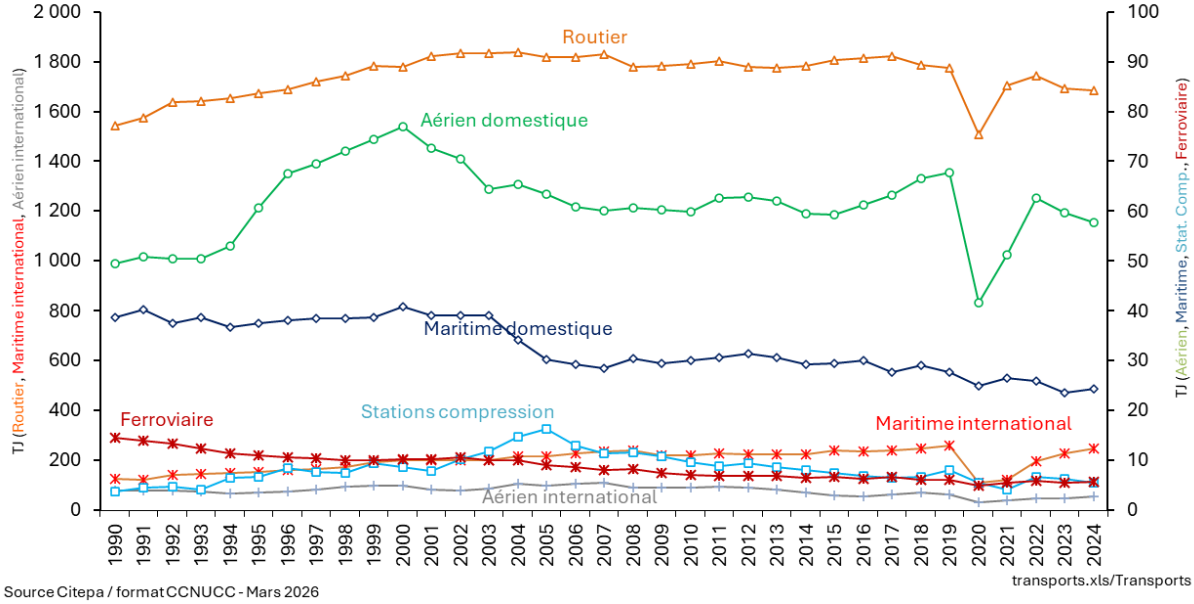
Tableau 70 : Substances pour lesquelles le secteur 1.A.3 est source clé en 2024 (hors UTCATF*, périmètre France UE)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A3a	CO_2	18e	1,1 %	28e	0,9 %
1A3b	CO_2	1er	31,2 %	1er	18,0 %
	N_2O	45e	0,3 %	57e	0,3 %
	CH_4	-	-	53e	0,3 %
1A3c	CO_2	-	-	-	-
1A3d	CO_2	35e	0,5 %	-	-

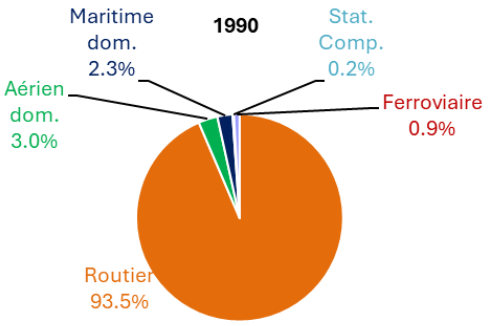
* Analyse hors UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)

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 94,7 % (périmètre France UE) de la consommation du secteur du transport en 2024.

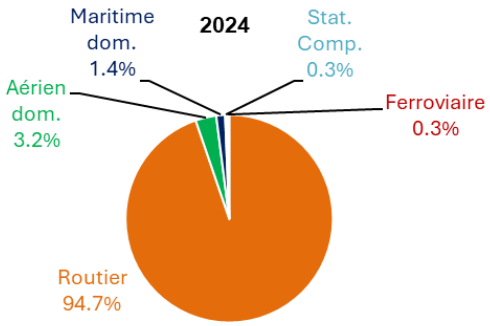
Figure 36 : Consommation des différents modes de transports sur la période 1990 – 2024 et répartition (hors international) en 2024 (y compris agro-carburants) (Périmètre France UE)



Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2026



Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2026 transports.xls/Transports



Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2026 transports.xls/Transports

3.2.7.1.1 Transport aérien (1.A.3.a.)

Le transport aérien civil 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 (e.g. les APU). .
- Les émissions connexes attachées aux aéronefs (usure des pneumatiques, des freins, abrasion des pistes, etc.),

Les émissions liées aux activités environnantes telles que : les engins de piste, le trafic routier induit ou les servitudes aéroports (chaufferie, restauration, entretien espaces verts, etc.) sont incluses, dans le cadre des inventaires nationaux, dans les activités de même nature à une échelle plus générale (par exemple trafic routier, combustion, etc.). Ces émissions ne sont pas traitées 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].

Les engins militaires sont exclus pour des raisons de confidentialité. L'ensemble de l'activité militaire est inclus dans les sources institutionnelles (CRT/NFR 1.A.5).

Contrairement à la plupart des autres sources, les aéronefs se caractérisent par :

- Une altitude de rejet dans un domaine 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, ie atterrissage et décollage) », 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 71 : 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 des différentes phases du cycle LTO dépendent de la durée de chacune de ces phases (elles-mêmes variables 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 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 des différentes phases de la croisière dépendent de la durée de chacune de ces phases (elles-mêmes variables 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 Direction Générale de l'Aviation Civile (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-St-Exupéry, 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 [127, 128, 129, 130, 903]. Certaines assimilations sont opérées en cas d'information manquante ou de multiples motorisations.

Le partage des liaisons entre la France hexagonale et les 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 contribution française à la consommation relative à la croisière internationale de la France hexagonale ($Conso_{CR,Int,HEX}$) est calculée par différence entre :

- D'une part, le total des ventes françaises de carburants à usage de l'aviation ($VENTES_{HEX+OM}$),
- D'autre part, les consommations des cycles LTO des vols domestiques et internationaux pour la France hexagonale et l'Outre-Mer ($Conso_{LTO,Dom,HEX}$, $Conso_{LTO,Dom,OM}$, $Conso_{LTO,Int,HEX}$, $Conso_{LTO,Int,OM}$), ainsi que celles de la croisière des vols domestiques pour la France hexagonale et l'Outre Mer ($Conso_{CR,Dom,HEX}$, $Conso_{CR,Dom,OM}$) et des vols internationaux pour l'Outre-mer ($Conso_{CR,Int,OM}$).

$$Conso_{CR,Int,HEX} = VENTES_{HEX+OM} - Conso_{LTO,Dom,HEX} - Conso_{LTO,Dom,OM} - Conso_{LTO,Int,HEX} - Conso_{LTO,Int,OM} - Conso_{CR,Dom,HEX} - Conso_{CR,Dom,OM} - Conso_{CR,Int,OM}$$

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[22]). Le bouclage n'est pas fait séparément pour la France hexagonale et pour chaque territoire d'outre-mer, car pour ces derniers, il peut exister pour certaines années, en fonction de données économiques, des effets d'avitaillement(i.e. les avions font une escale pour simplement faire le plein dans un pays étranger au cours d'un vol domestique).

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, ce qui a conduit à des baisse équivalents des émissions liées au trafic domestique et au trafic international.

Après une remontée des trafics domestique et international suite à la crise COVID-19 de 2020 sur la période 2021-2022, le trafic domestique est en légère baisse depuis 2023 (-0,3 %, respectivement -0,8 %, de passagers x km en 2023, respectivement en 2024) et le trafic international continue sa hausse (+19%, respectivement +8 %, de

[22] TARMAAC : Traitements et Analyses des Rejets éMis dans l'Atmosphère par l'Aviation Civile

passagers x km en 2023, respectivement en 2024) 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)

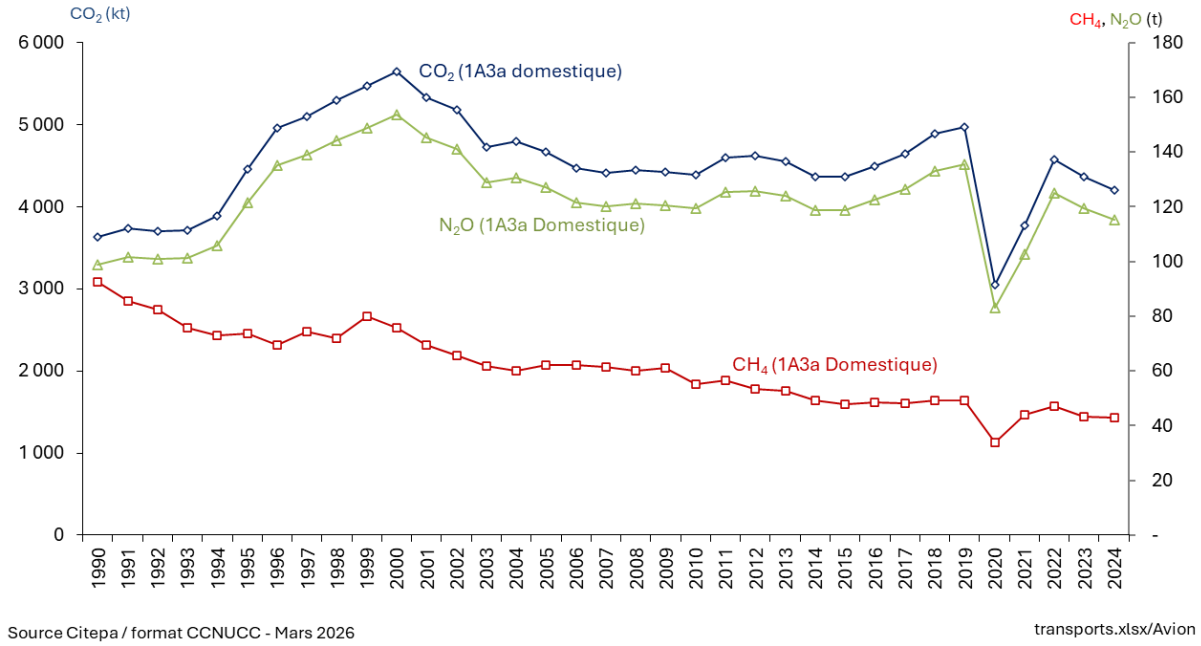
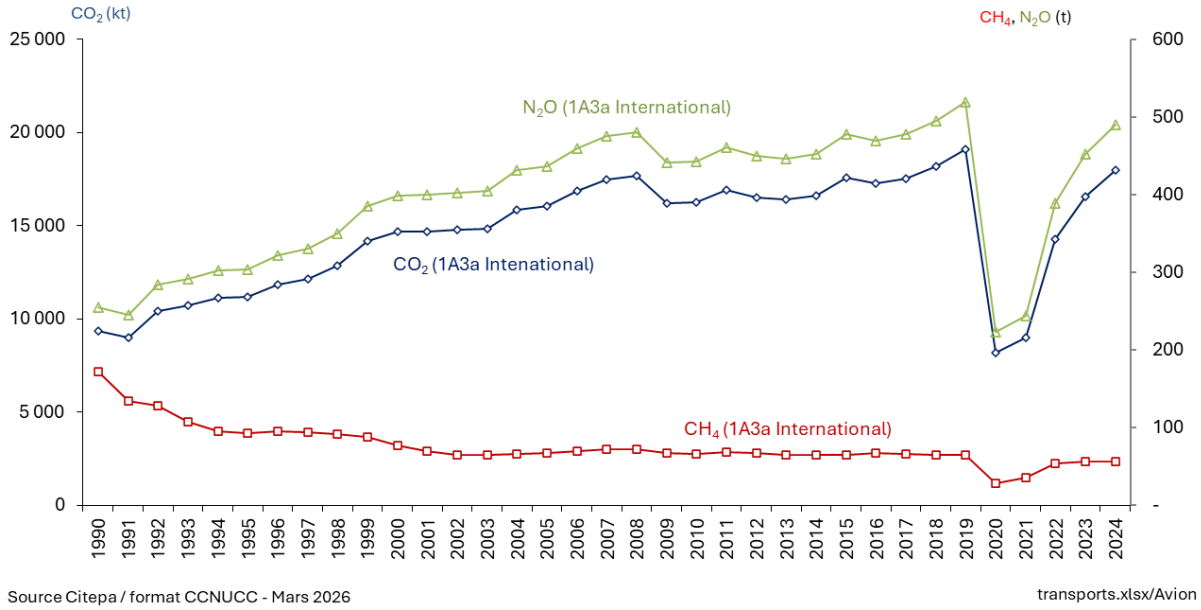
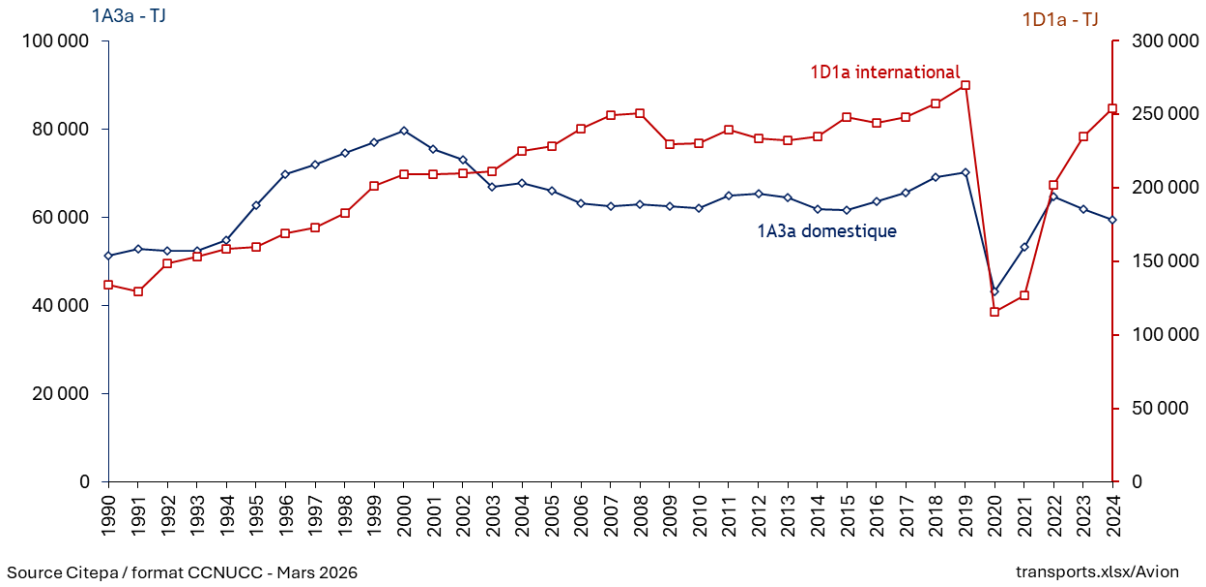


Figure 38 : Emissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile internationale (périmètre France UE)



Le graphique suivant présente l'évolution des consommations de carburants de l'aviation civile touchant la France métropolitaine 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 France hexagonale et l'Outre-mer



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

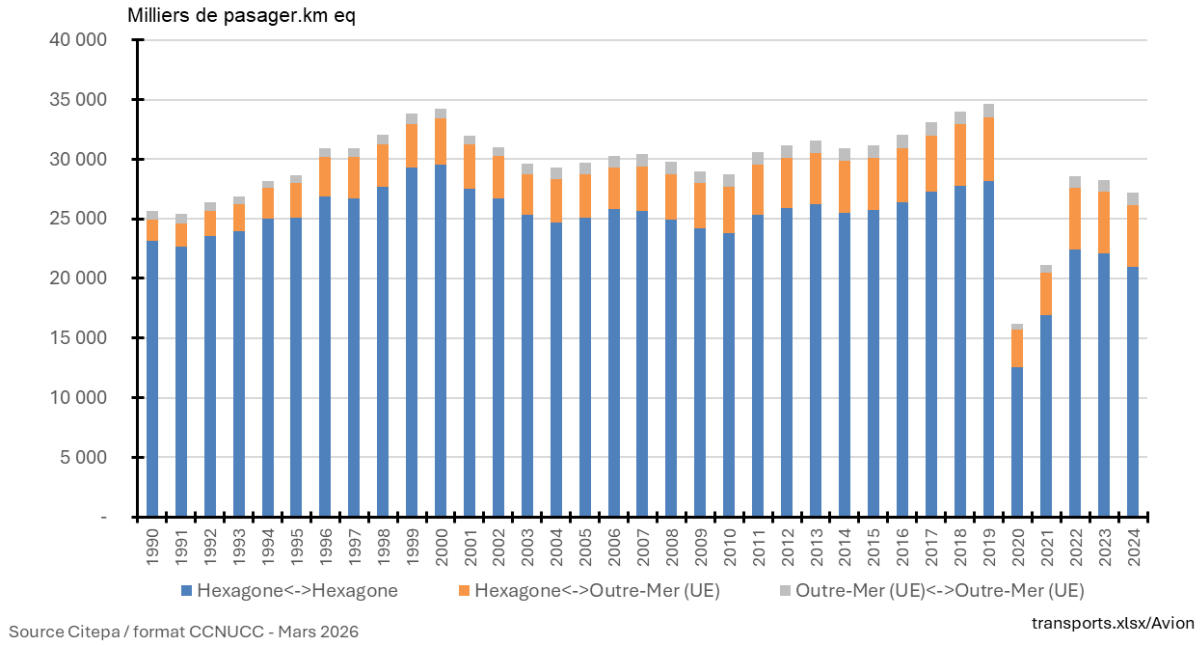
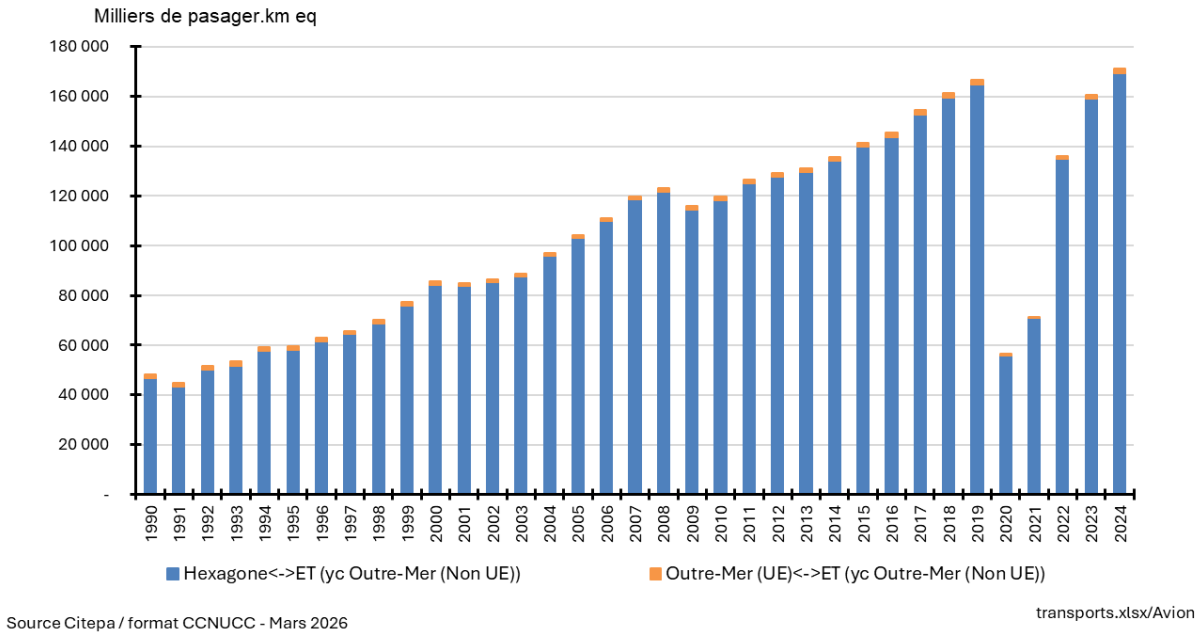


Figure 41 : Trafic international en milliers de passagers



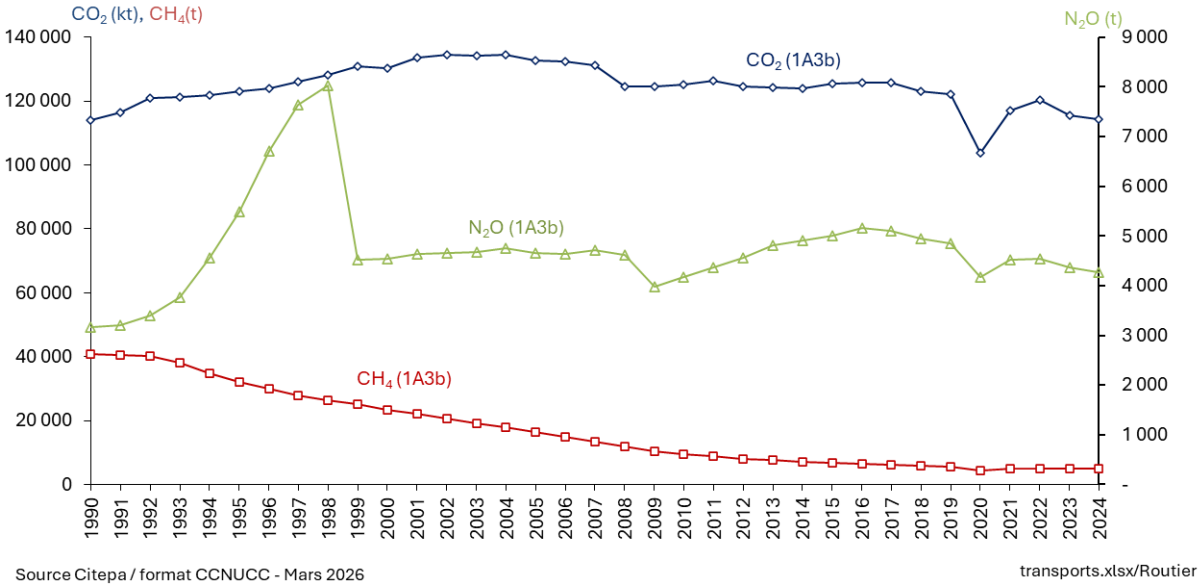
3.2.7.1.2 Transport routier (1.A.3.b.)

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**) 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 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 France hexagonale 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. Depuis, le prix des carburants est en lente baisse.

Figure 42 : Emissions de gaz à effet de serre du transport routier en France métropolitaine et en Outre-mer (périmètre France UE)

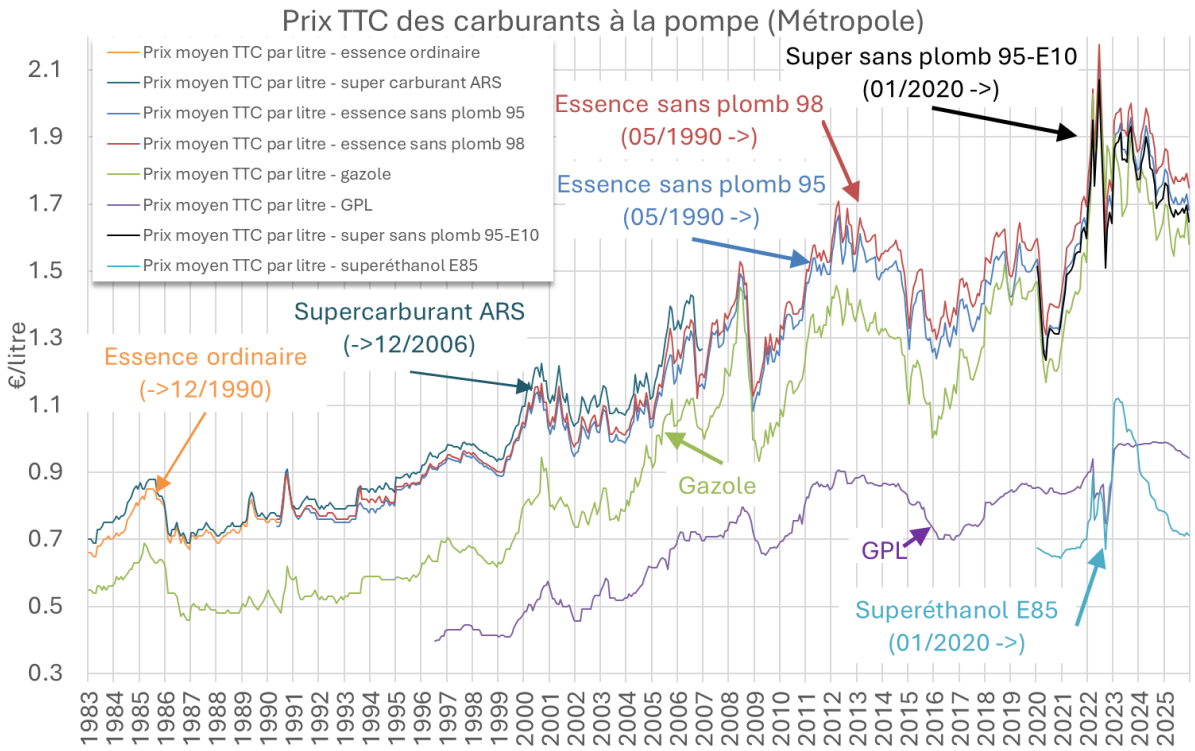


Les fortes baisses de N_2O entre 1998 et 1999 et entre 2008 et 2009 sont liées au changement de taux de soufre dans les carburants en France hexagonale (cf. Méthode d'estimation des émissions de N_2O du transport routier plus loin). La hausse progressive et continue des émissions avant 2000 est liée 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.

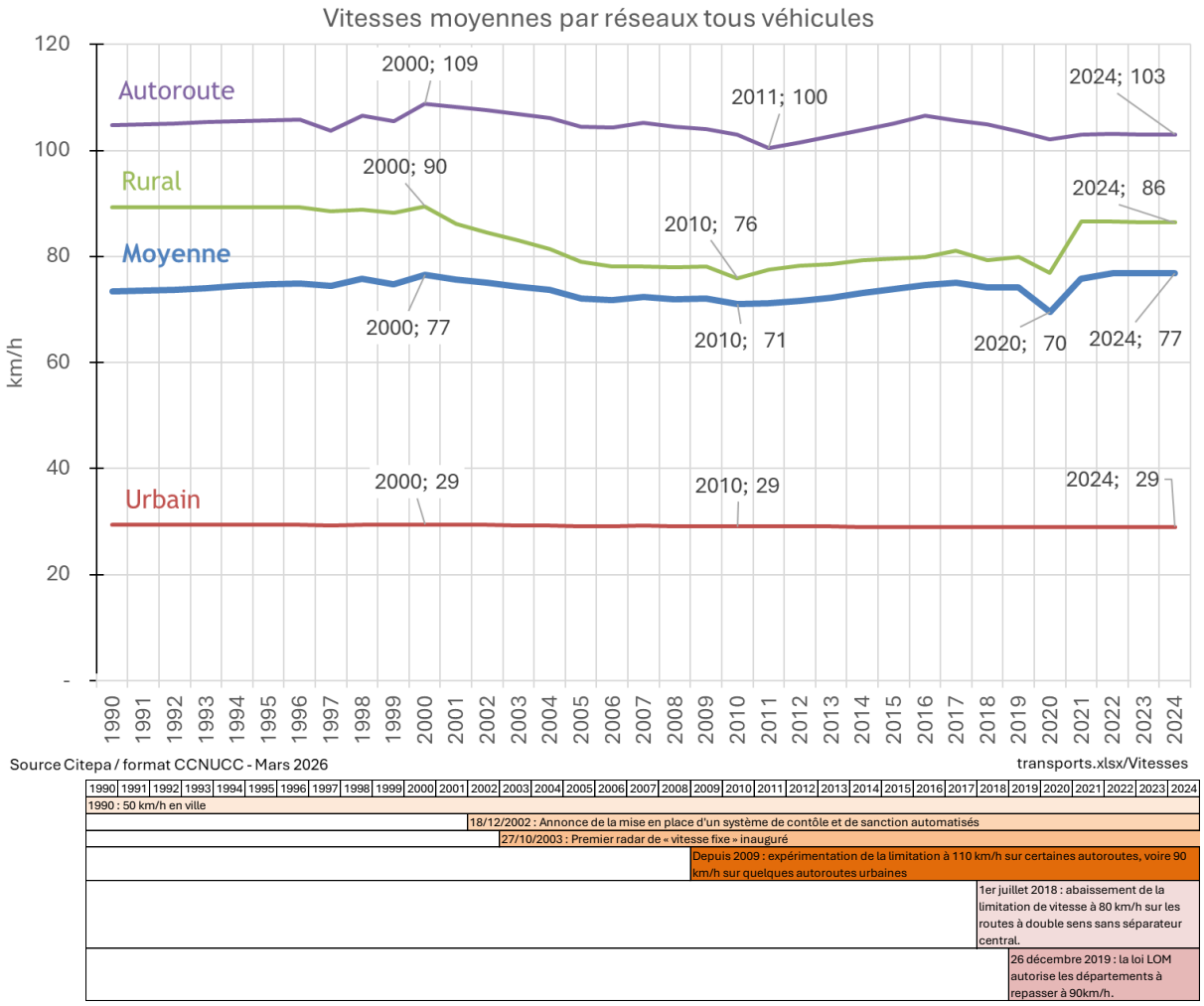
En 2020, la crise sanitaire du Covid-19 a eu un impact très fort sur le trafic, les consommations et les émissions. La reprise progressive de l'activité économique et la levée des restrictions depuis 2021 ont induit une reprise du trafic, et ainsi des émissions. Depuis 2022, les émissions de CO_2, de N_2O et de CH_4 reviennent dans la tendance des années pré-Covid (cf. **Figure 42**).

Figure 43 : Prix des carburants à la pompe (France hexagonale)



Source : SDeS - Conjoncture mensuelle de l'énergie

Figure 44 : Vitesses moyennes par réseaux tous véhicules (France Hexagonale)



La **Figure 45** 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 (cf. **Figure 46**).

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)

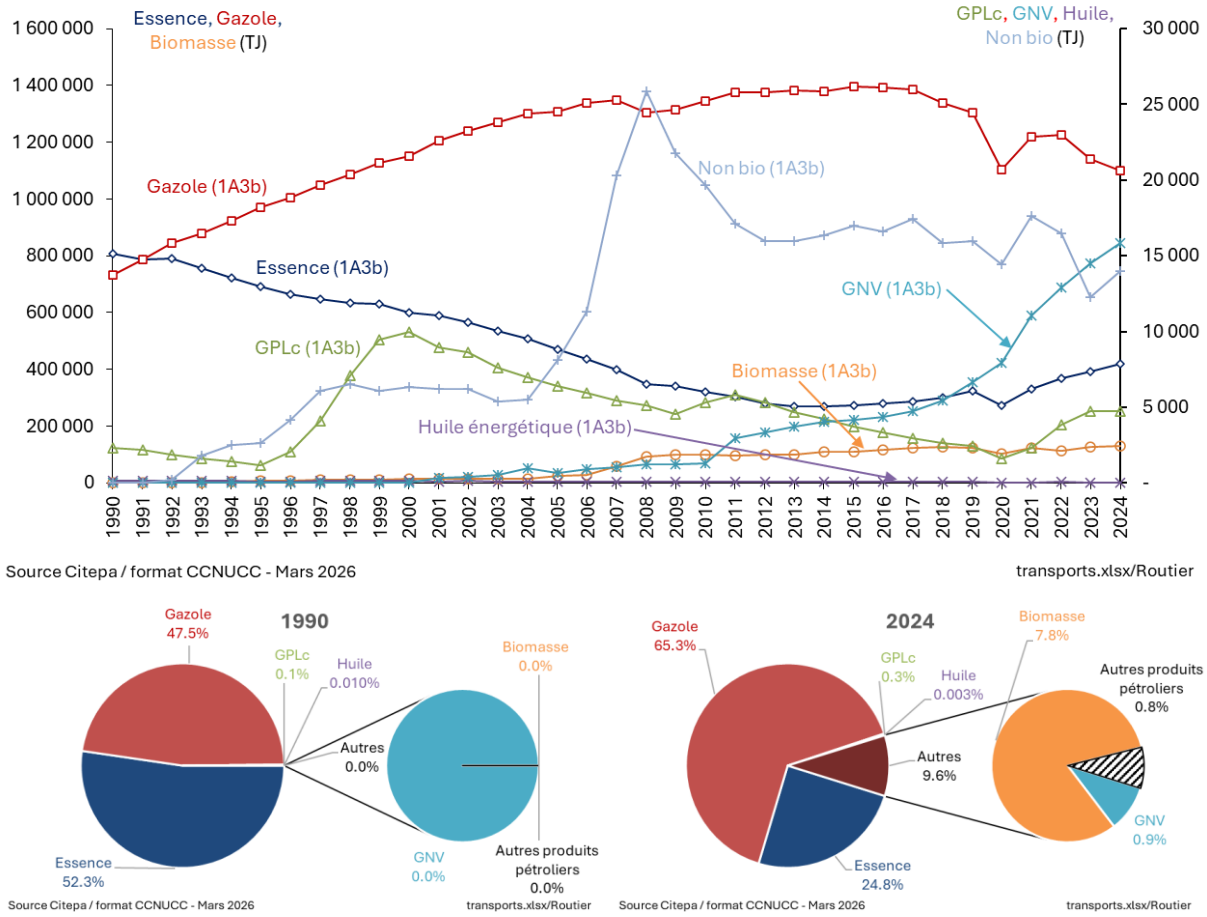


Figure 46 : Taux de diésélisation du parc des véhicules particuliers en France

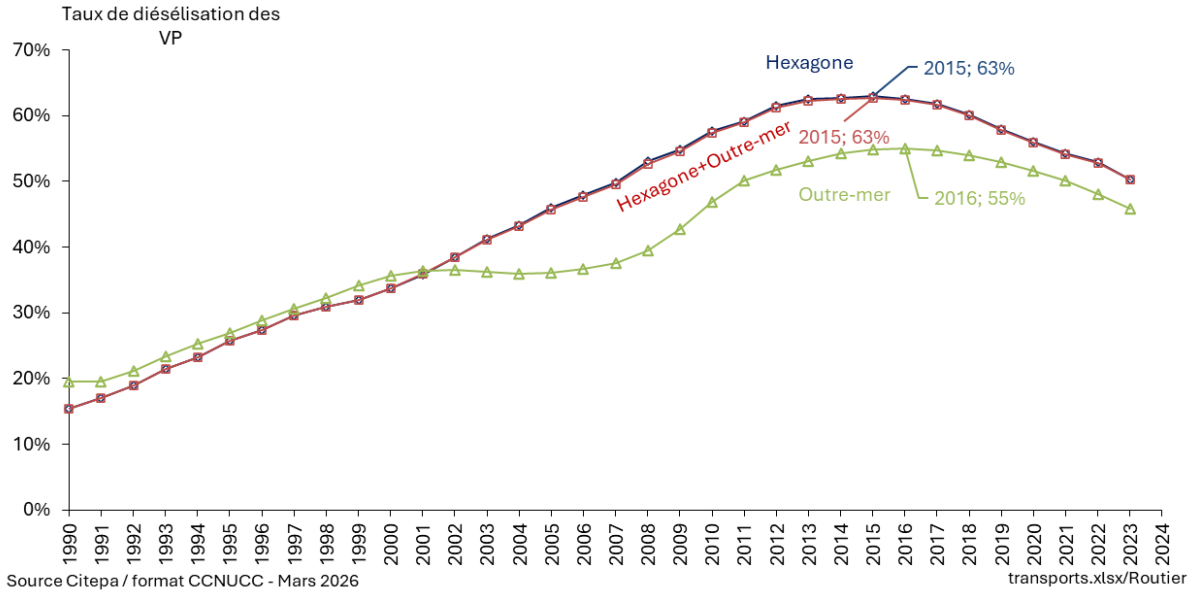
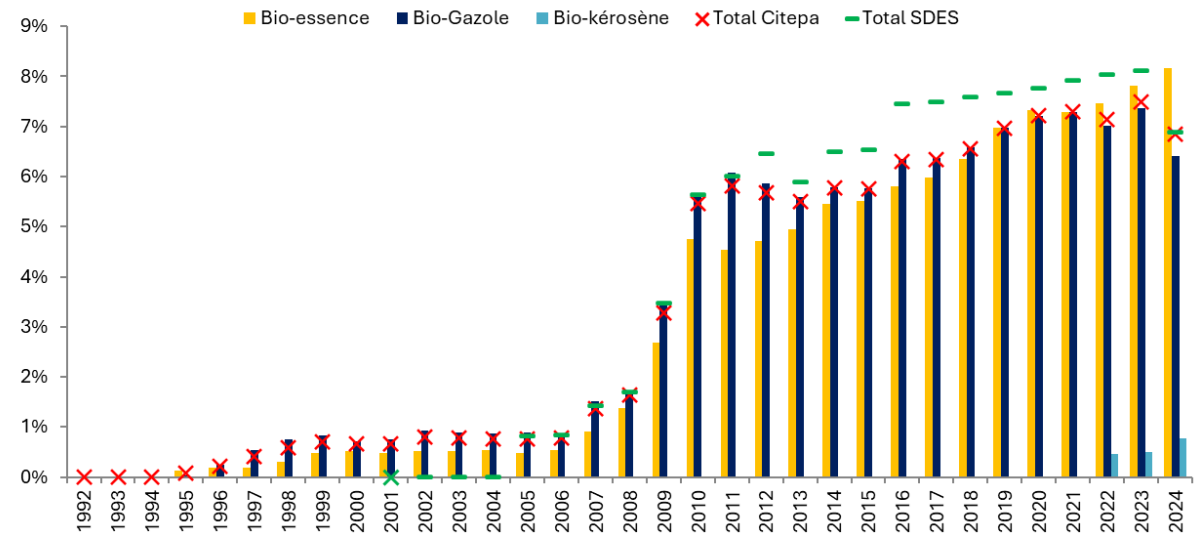


Figure 47 : Taux d'incorporation d'agro-carburants en France métropolitaine



Source Citepa / format OMINEA - février 2026 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 72**, les parties non-bio des agro-carburants sont incluses dans les produits pétroliers.

Dans le **Tableau 72** et le **Tableau 73**, 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 72 : Consommations des différents combustibles et de l'huile en France hexagonale.

Routier_OMINEA.xlsx/Conso

Conso Hexagone (kt)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Essence (kt)	17900	17457	17543	16838	16069	15324	14807	14491	14242	14158
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	14267
Gazole (kt)	16985	18224	19580	20373	21433	22612	23425	24368	25170	26043
Bio-Gazole (kt)	0	0	0.0	0.0	1	8	64	152	215	247
Gazole+Bio-Gazole (kt)	16985	18224	19580	20373	21433	22620	23489	24520	25384	26290
Huile 4 tps (kt)	58	59	62	63	64	64	64	66	68	70
Huiles 2 tps (kt)	3.5	3.2	3.1	3.6	2.9	2.4	2.3	2.6	3.0	2.9
	2000	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Essence (kt)	13468	13190	12664	11923	11335	10614	9969	9505	8700	8397
Bio-Essence (kt)	115	105	108	101	100	85	87	140	195	362
Essence+Bio-Essence (kt)	13583	13295	12772	12024	11435	10699	10056	9645	8895	8759
Gazole (kt)	26660	27900	28628	29337	30027	30385	31125	31770	31489	31256
Bio-Gazole (kt)	219	242	305	300	297	307	311	557	623	1263
Gazole+Bio-Gazole (kt)	26880	28142	28933	29638	30324	30692	31436	32327	32112	32519
Huile 4 tps (kt)	70	72	74	75	77	76	77	78	77	79
Huiles 2 tps (kt)	2.8	2.6	2.7	2.6	2.4	2.2	2.1	2.1	2.1	2.0
	2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Essence (kt)	7850	7435	6925	6694	6694	6799	6983	7266	7564	8138
Bio-Essence (kt)	593	538	520	526	579	594	635	676	722	842
Essence+Bio-Essence (kt)	8444	7973	7446	7220	7273	7393	7618	7942	8286	8980
Gazole (kt)	31131	31528	31658	31902	32023	32395	32155	32093	30980	30021
Bio-Gazole (kt)	2104	2324	2239	2137	2232	2254	2468	2458	2454	2516
Gazole+Bio-Gazole (kt)	33235	33853	33897	34039	34255	34648	34623	34552	33435	32536
Huile 4 tps (kt)	81	82	81	83	86	88	90	89	89	91
Huiles 2 tps (kt)	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4
	2020	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**					
Essence (kt)	6981	8527	9486	10008	10752					
Bio-Essence (kt)	761	926	1095	1190	1357					
Essence+Bio-Essence (kt)	7742	9453	10581	11198	12109					
Gazole (kt)	25292	28072	28005	26259	25627					
Bio-Gazole (kt)	2194	2433	2366	2336	1983					
Gazole+Bio-Gazole (kt)	27486	30505	30371	28595	27610					
Huile 4 tps (kt)	75	85	93	91	91					
Huiles 2 tps (kt)	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1					

Tableau 73 : Consommations des différents combustibles et de l'huile en Outre-mer.

Routier_OMINEA.xlsx/Conso

Conso RUP UE & Non UE (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)	2.0	2.0	2.0	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0
Huiles 2 tps (kt)	0.68	0.69	0.64	0.75	0.63	0.51	0.46	0.46	0.42	0.37
	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)	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Huiles 2 tps (kt)	0.35	0.30	0.28	0.23	0.19	0.15	0.13	0.14	0.13	0.13
	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	949	931	939
Huile 4 tps (kt)	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9
Huiles 2 tps (kt)	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16
	2020	2021	2022	2023	2024					
Essence (kt)	423	465	504	522	532					
Gazole (kt)	853	889	901	880	846					
Huile 4 tps (kt)	2.7	2.8	3.0	3.0	3.0					
Huiles 2 tps (kt)	0.16	0.17	0.19	0.18	0.18					

Tableau 74 : Répartition des consommations par type d'Outre-mer (appartenant ou non à l'UE)

Routier_OMINEA.xlsx/Conso

Répartition RUP UE/Non UE %	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
% Essence RUP UE	80%	81%	81%	80%	81%	81%	80%	80%	78%	78%
% Essence RUP non UE	20%	19%	19%	20%	19%	19%	20%	20%	22%	22%
% Gazole RUP UE	69%	69%	68%	67%	68%	71%	69%	73%	71%	74%
% Gazole RUP non UE	31%	31%	32%	33%	32%	29%	31%	27%	29%	26%
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
% Essence RUP UE	78%	79%	79%	79%	78%	77%	77%	76%	74%	74%
% Essence RUP non UE	22%	21%	21%	21%	22%	23%	23%	24%	26%	26%
% Gazole RUP UE	73%	75%	74%	75%	76%	77%	78%	79%	78%	78%
% Gazole RUP non UE	27%	25%	26%	25%	24%	23%	22%	21%	22%	22%
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
% Essence RUP UE	74%	72%	72%	71%	71%	71%	70%	70%	71%	71%
% Essence RUP non UE	26%	28%	28%	29%	29%	29%	30%	30%	29%	29%
% Gazole RUP UE	78%	78%	79%	79%	79%	79%	79%	79%	79%	80%
% Gazole RUP non UE	22%	22%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	20%
	2020	2021	2022	2023	2024					
% Essence RUP UE	70%	72%	72%	73%	75%					
% Essence RUP non UE	30%	28%	28%	27%	25%					
% Gazole RUP UE	79%	80%	80%	80%	81%					
% Gazole RUP non UE	21%	20%	20%	20%	19%					

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.

Historiquement, les locomotives ont utilisé du charbon et du fioul lourd jusqu'au milieu des années 70. Il existe aujourd'hui encore quelques trains touristiques qui circulent avec ses combustibles, mais les quantités mises en jeu sont trop faibles pour qu'elles apparaissent dans le bilan de l'énergie pour ce secteur. Elles sont incluses dans le secteur commercial (1.A.4.a).

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 France hexagonale.

Cette section couvre les émissions du transport ferroviaire de voyageurs et de marchandises. Les émissions des sources

Alors qu'elle était de 40 % en 1990, la consommation d'énergie des tractions Diesel représente en 2024 moins de 20 % 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. Depuis 2021, le trafic et les consommations reprennent par rapport à 2020 sans pour autant atteindre le niveau de 2019. Les émissions sont depuis 2022 dans la tendance pré-covid.

Figure 48 : Consommations d'énergies (y compris agro-carburants) du transport ferroviaire en France métropolitaine

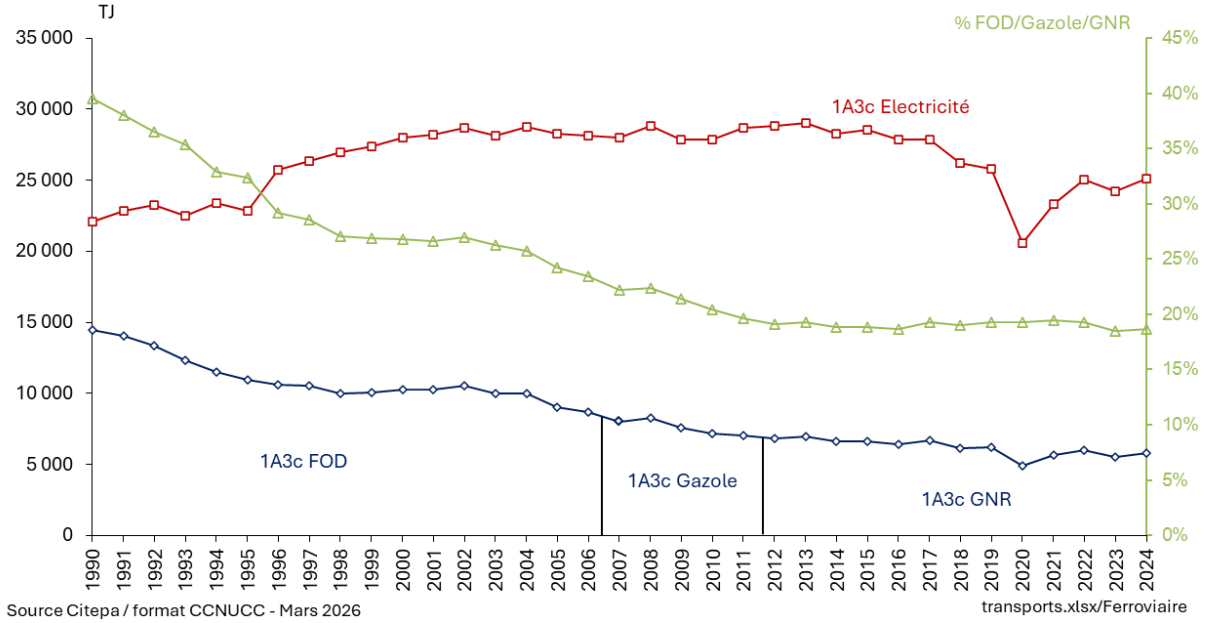
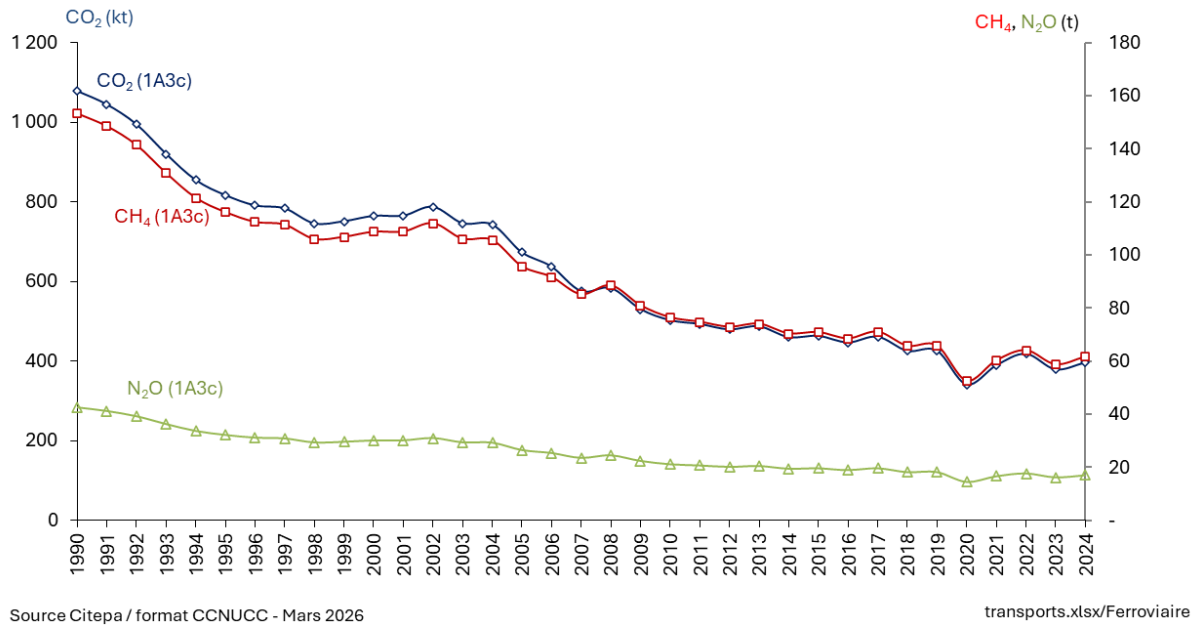
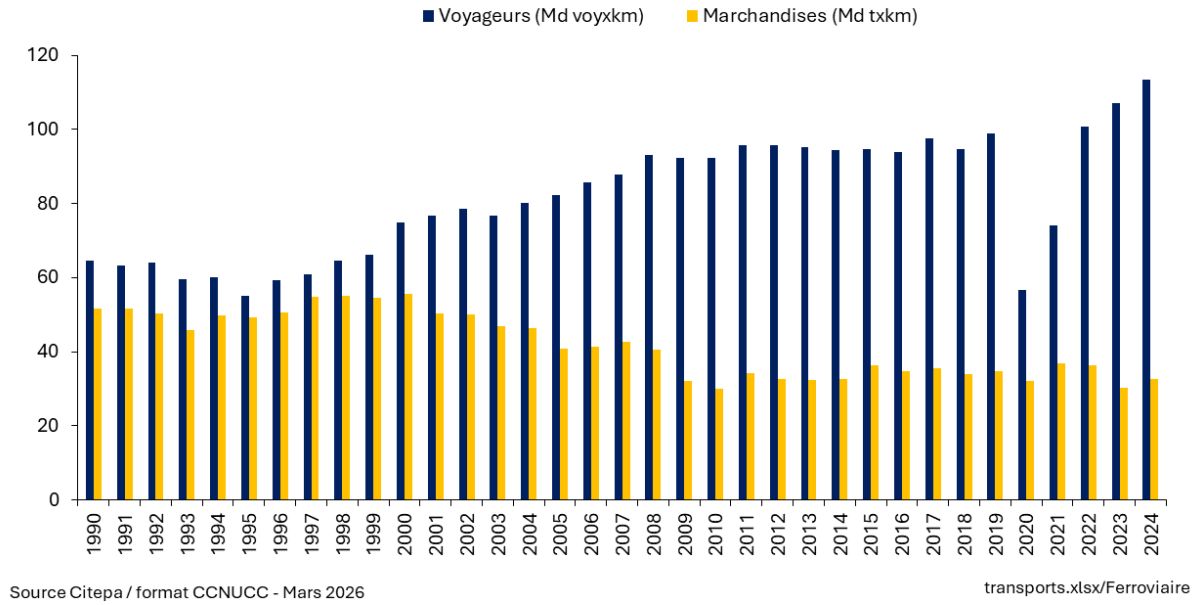


Figure 49 : Emissions de gaz à effet de serre du transport ferroviaire en France métropolitaine



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)



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 ou la nationalité de l'armateur ne sont pas des critères déterminants le 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 chacun des 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 noter 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] communiquait chaque année pour la France hexagonale les consommations , de Diesel Marine Léger (DML) et de fioul lourd (FOL) des soutes françaises d'une part et étrangères d'autre part. Depuis 2023, seul le total agrégé composé des soutes de DML et des avitaillements en gazole pêche (GOP) est publié. De plus, pour tous les carburants marins, il n'y a plus la distinction du pavillon. La même référence renseigne les soutes pour les Régions Ultrapériphériques (RUP) de l'Union Européenne et les Pays et territoires d'Outre-Mer (PTOM) hors UE[23]. Il est utile de rappeler que :

- Les soutes, communiquées seules jusqu'en 2022, n'incluent pas les avitaillements sous douane destinés aux bateaux de pêche, aux caboteurs ainsi qu'aux engins et matériels flottants (avitaillements en GOP pour les bateaux de pêche et en essence pour les engins portuaires) ;
- 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 répartition du trafic entre les 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 par des calculs fondés sur les hypothèses détaillées ci-après, et établis selon une procédure de type bottom-up.

Pour les RUP de l'UE, 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%

[23] Hors TAAF : Les Terres australes et antarctiques françaises

En ce qui concerne les années depuis 2021, 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), seules des parts variant selon l'année entre 5 et 16 % de la consommation totale de FOL ont été attribuées au trafic domestique depuis 2021, 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 PTOM hors UE, 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 France hexagonale

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),
- 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, lors de la revue [24] de l'inventaire français des émissions de gaz à effet de serre, la CCNUCC a demandé que le ratio de consommation domestique des soutes soit mis à jour (régulièrement). Depuis 2023, l'accès à des données AIS[25] (positionnement des navires) couvrant les années 2018 et 2019 et à des données de la Llyod's [1339] (caractéristiques techniques des navires), via le Cerema avec l'autorisation de la Direction Générale des Affaires Maritimes, de la Pêche et de l'Aquaculture (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 hexagonale.

Le principe mis en œuvre est d'utiliser les données AIS des navires naviguant autour de la France hexagonale et d'en extraire les trajets domestiques et internationaux à destination et/ou en provenance de France hexagonale. 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 effectués entre deux ports de l'hexagone 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, toutes les trajectoires appartenant au premier point ci-dessus ont été gardées pour les calculs. Celles de la deuxième catégorie ont été conservées uniquement si le nombre de trajets domestiques effectué par le navire est au moins dix fois supérieur à son nombre de trajets internationaux, et que la distance parcourue lors des premiers est au moins dix fois supérieure à celle parcourue lors des seconds. Cette hypothèse a été prise de façon à choisir un maximum de trajectoires correspondant à des avitaillements en France et un

[24] 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*"

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

minimum à des avitaillements à l'étranger et ainsi pouvoir comparer les consommations calculées aux ventes des soutes. Choisir uniquement les trajectoires de la première catégorie exclue un nombre de trajectoire trop important.

En connaissant les caractéristiques de chacun des navires [1339] (type, puissance des moteurs, motorisation, carburant principal, etc.),, il est possible d'appliquer une consommation spécifique (issue du 4e rapport sur les émissions de GES de l'OMI [1221]) à chaque position de ces trajets domestiques à tous les moteur (principal, auxiliaire et chaudière) en fonction de leurs facteurs de charge instantanés respectifs pour calculer la consommation de chaque carburant (Diesel Marine Léger – DML – , fioul lourd – FOL – et gaz naturel liquéfié – GNL) utilisé.

$$Consommation(nav, pos, mot, carb) = \sum_{moteur} SFC(nav, carb, mot) \cdot P_{moteur} \cdot LF_{pos,moteur} \cdot \Delta t$$

Avec :

- nav : type de navire ;
- mot : motorisation (eg SSD, MSD, HSD, etc.) ;
- $moteur$: type de moteur (principal, auxiliaire, chaudière) ;
- $carb$: carburant (DML, FOL) ;
- pos : position ;
- SFC : Consommation spécifique de carburant (*Specific Fuel Consumption*), en g/kWh ;
- P : Puissance, en kW ;
- LF : Facteur de charge (sans unité) ;
- Δt : durée entre deux positions connues du navire, en heures ;
- $N(nav, mot, carb)$: ensemble des navires dont le type de navire est nav, la motorisation est mot, et le carburant est $carb$;
- $PO(navire)$: ensemble des positions du navire $navire$;
- TN : ensemble des types de navires.

Il est alors possible de sommer les consommations par carburant et par pavillon (sachant qu'un navire a un pavillon donné), et de les comparer aux ventes des soutes pour la période couvrant les années 2018 et 2019.

$$Consommation\ (pavillon, carb) = \sum_{nav \in TN} \sum_{navire \in N(nav,mot,carb)} \sum_{pos \in PO(navire)} Consommation\ (nav, pos, mot, carb)$$

Figure 51 : logigramme de détermination des ratios de ventes de soutes maritimes à destination des trafics domestiques et internationaux

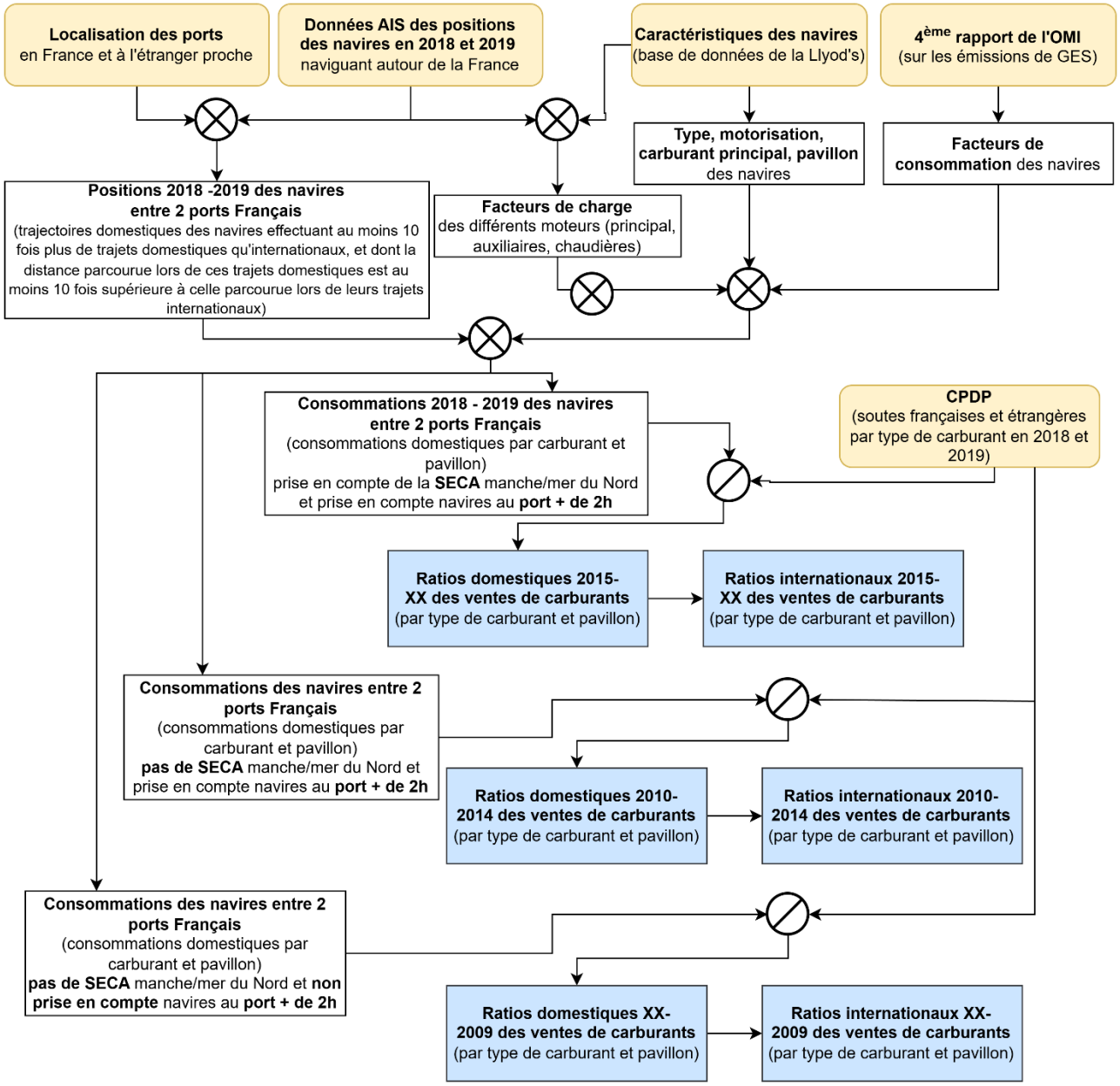


Tableau 75 : Consommations 2018 et 2019 des trajets domestiques et comparaison aux ventes, par pavillon en prenant l'hypothèse que la Manche/Mer du Nord est une SECA.

Année	Carburant	DML			FOL			LNG	Total
	Pavillon	Fr	Etr	Total	Fr	Etr	Total	Etr	
2018	Consos (t)	98 631	26 713	125 343	85 377	52 516	137 893	-	263 236
	Ventes (t)	78 400	84 900	163 300	242 300	1 603 200	1 845 500	-	2 008 800
	Ratio	126 %	31 %	77 %	35 %	3,3 %	7,5 %	*	13 %
2019	Consos (t)	102 334	23 650	125 984	86 104	65 052	151 156	682	277 822
	Ventes (t)	65 900	77 400	143 300	191 100	1 428 100	1 619 200	-	1 762 500
	Ratio	155 %	31 %	88 %	45 %	4,6 %	9,3 %	*	16 %
Total	Consos (t)	200 965	50 363	251 327	171 481	117 568	289 049	-	540 376

	Ventes (t)	144 300	162 300	306 600	433 400	3 031 300	3 464 700	-	3 771 300
	Ratio	139 %	31 %	82 %	40 %	3,9 %	8,3 %	*	14 %

**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 39 %, 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 76 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 76 : 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 consommations/ventes 2018-2019	139 %	31 %	40 %	3,9 %	0 %	0 %
% des ventes pour le trafic domestique	100 % (1)	30 % (2)	40 % (3)	5 % (4)	0 %	0 %
% des ventes pour le trafic international	0 %	70 %	60 %	95 %	100 %	100 %

(5) 100 % : l'inventaire national étant fondé sur les ventes effectuées en France, le ratio consommations/ventes est plafonné à 100 % des ventes
(6) 30 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 31 %
(7) 40 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 40 %
(8) 5 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 3,9 %

Comme indiqué ci-dessus, la zone SECA Manche/Mer du Nord est devenue une SECA que le 1er janvier 2015. 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 calcul sur ces mêmes données (années 2018 et 2019) en considérant la zone Manche/Mer du Nord comme n'étant pas une SECA. Cela signifie que les navires pouvant utiliser du fioul lourd le font dans cette zone[26].

Tableau 77 : Consommations 2018 et 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	Carburant	DML			FOL			LNG	Total
	Pavillon	Français	Étranger	Total	Français	Étranger	Total	Étranger	
2018	Consos (t)	93 200	23 370	116 570	90 808	55 859	146 667	0	263 236
	Ventes (t)	78 400	84 900	163 300	242 300	1 603 200	1 845 500	0	2 008 800
	Ratio	119 %	28 %	71 %	37 %	3,5 %	7,9 %	0	13 %
2019	Consos (t)	96 634	20 162	116 796	91 804	68 540	160 345	682	277 823
	Ventes (t)	65 900	77 400	143 300	191 100	1 428 100	1 619 200	0	1 762 500
	Ratio	147 %	26 %	82 %	48 %	4,8 %	9,9 %	*	16 %
Total	Consos (t)	189 834	43 532	233 365	182 612	124 399	307 011	-	540 377
	Ventes (t)	144 300	162 300	306 600	433 400	3 031 300	3 464 700	-	3 771 300
	Ratio	132 %	27 %	76 %	42 %	4,1 %	8,9 %	*	14 %

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

Le Tableau 78 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.

[26] Néanmoins la directive européenne [1340] reste applicable pour les années entre 2010 et 2014.

Tableau 78 : 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	100 % (1)	25 % (2)	40 % (3)	5 % (4)	0 %	0 %
% des ventes pour le trafic international	10 %	75 %	60 %	95 %	100 %	100 %

(5) 100 % : l'inventaire national étant fondé sur les ventes effectuées en France, le ratio consommations/ventes est plafonné à 100 % des ventes
(6) 25 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 27 %
(7) 40 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 40 %
(8) 5% = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 4,1 %

Les données du Tableau 78 ne sont applicables qu'entre 2010 et 2014, car une directive européenne [1340] 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 depuis le 1er janvier 2010. Les ratios ci-dessus ne sont donc 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 calcul sur ces mêmes données (années 2018 et 2019) 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 79 : Consommations 2018 et 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	Carb	DML			FOL			LNG	Total
	Pav.	Fr	Etr	Total	Fr	Etr	Total	Etr	
2018	Consos (t)	53 303	9 873	63 176	130 705	69 356	200 060	0	263 236
	Ventes (t)	78 400	84 900	163 300	242 300	1 603 200	1 845 500	0	2 008 800
	Ratio	68 %	12 %	39 %	54 %	4,3 %	11 %	0	13 %
2019	Consos (t)	57283	9592	66875	131155	79110	210265	682	277 823
	Ventes (t)	65 900	77 400	143 300	191 100	1 428 100	1 619 200	0	1 762 500
	Ratio	87 %	12 %	47 %	69 %	5,5 %	13 %	*	16 %
Total	Consos (t)	110 586	19 465	130 051	261 859	148 466	410 325	-	540 377
	Ventes (t)	144 300	162 300	306 600	433 400	3 031 300	3 464 700	-	3 771 300
	Ratio	77 %	12 %	42 %	60 %	4,9 %	12 %	*	14 %

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

Le Tableau 80 récapitule les hypothèses prises pour attribuer une partie des ventes de carburants aux consommations lors des trajets domestiques pour les années avant 2010.

Tableau 80 : 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	75 % (1)	10 % (2)	60 %	5 % (3)	0 %	0 %
% des ventes pour le trafic international	25 %	90 %	40 %	95 %	100 %	100 %

(5) 75 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 77 %
(6) 10 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche 12 %
(7) 5 % = arrondi au multiple de 5 % le plus proche de 4,9 %

Procédure bottom-up de discernement des consommations d'huiles relatives au trafic maritime domestique et trafic maritime international pour la France hexagonale

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 est brûlée dans la chambre de combustion, 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 %

Consommation d'huile dans les 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 :

- i : le type de carburant (FOL ou DML)
- $C_{H_{2tps}}$: La consommation d'huile associée aux moteurs deux temps
- $Ratio_{2tps}$: 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),

Consommation d'huile dans les 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 du GIEC [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. 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 [31, 1141] 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 [31, 1141] (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 [31, 1141] (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 du bilan annuel des transports [31, 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 [31, 1141]. 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)

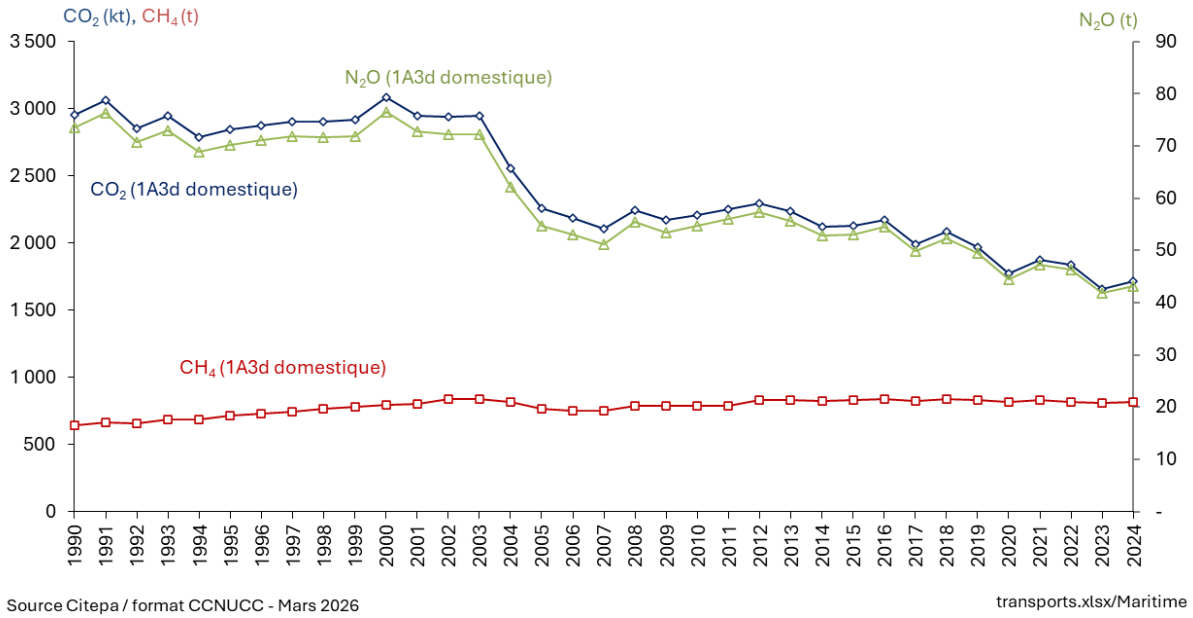
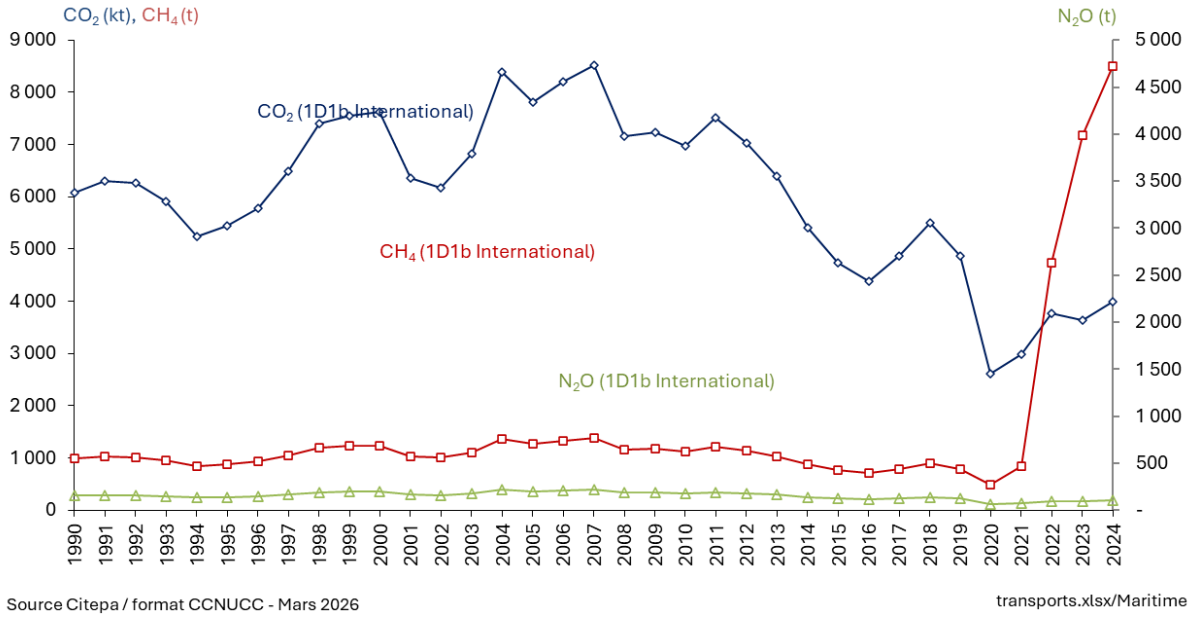


Figure 54 : Emissions de gaz à effet de serre du transport maritime international (hors total)



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

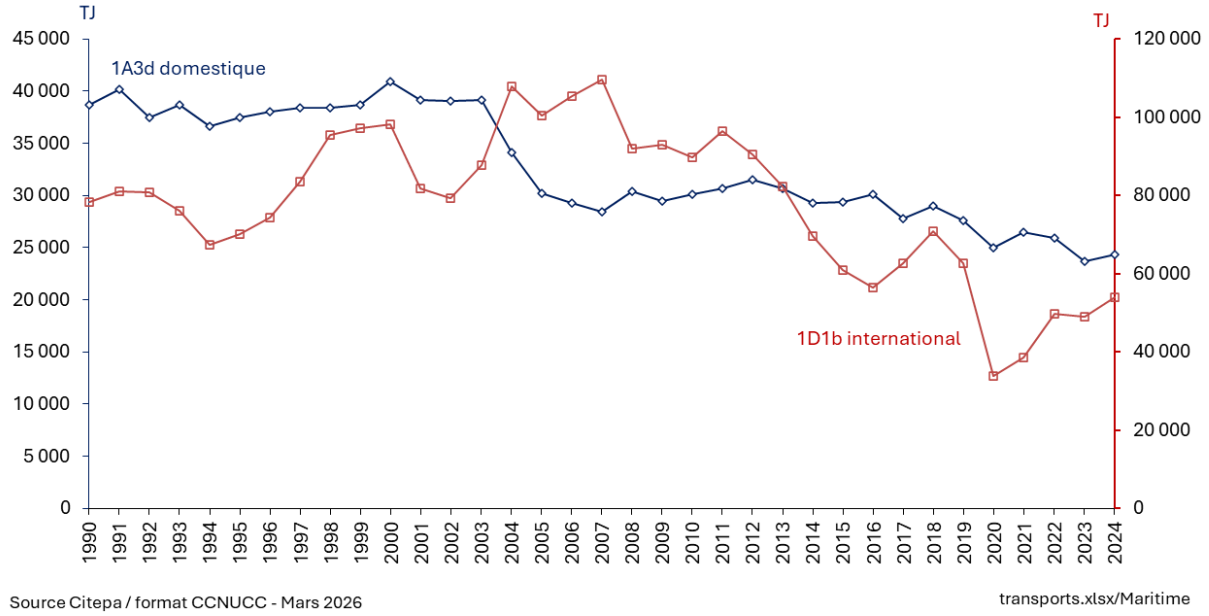


Figure 56 : Consommations des différentes énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime domestique (1.A.3.d.)

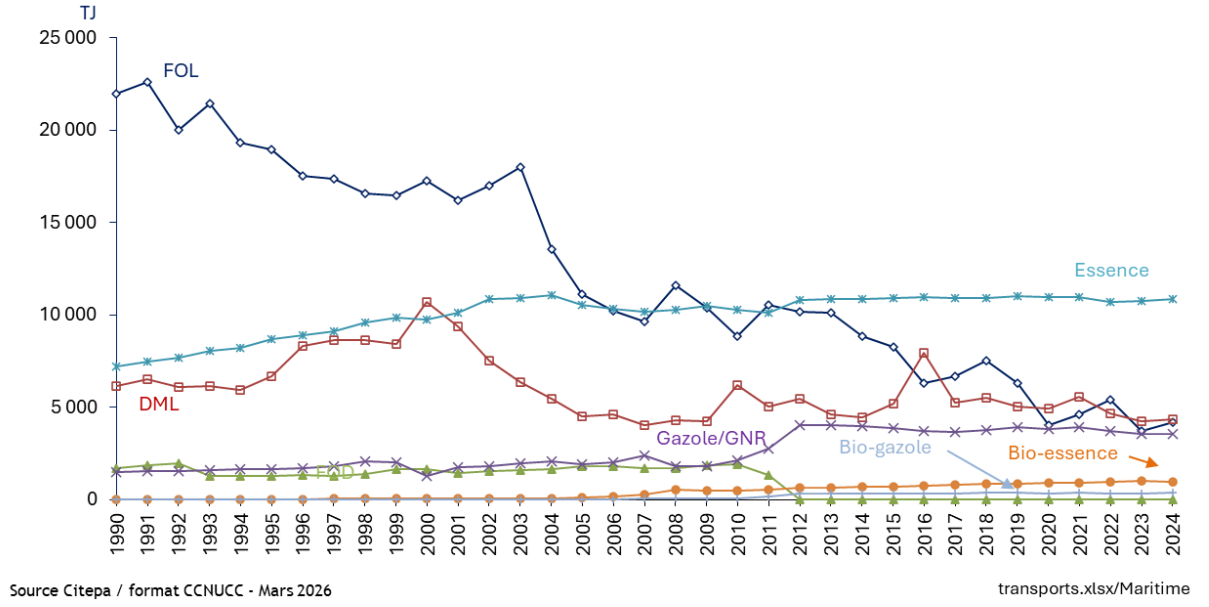


Figure 57 : Consommations des différentes énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime international (1.D.)

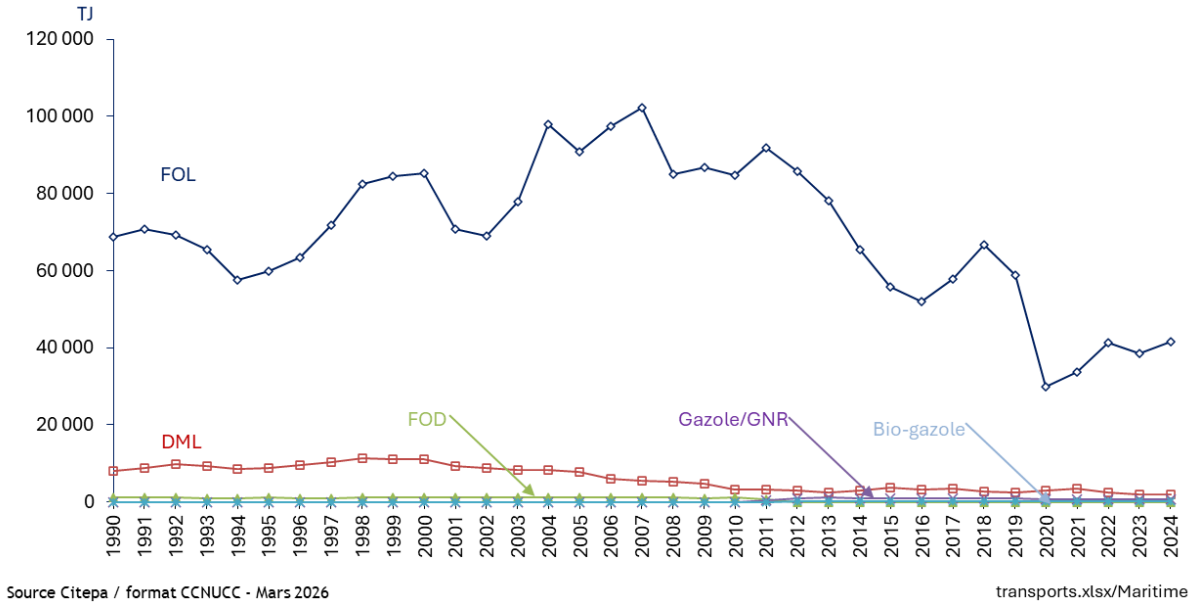
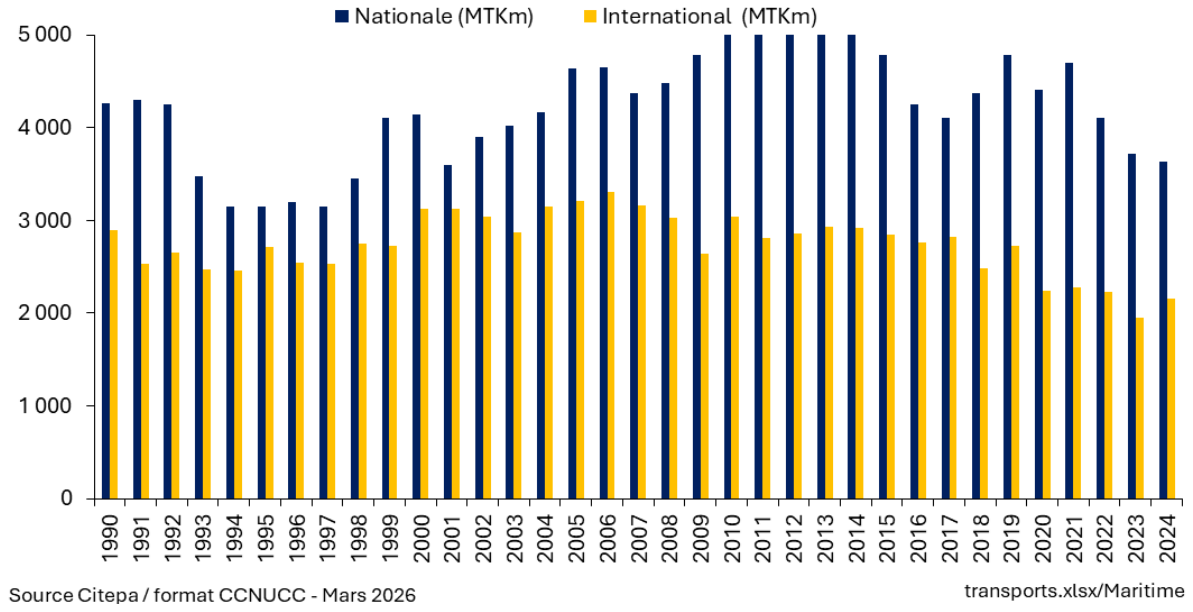


Figure 58 : Répartition des tonnesxkilomètres du transport fluvial de marchandises entre la partie domestique et internationale



➔ *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.)

<u>Stations de compression du réseau de transport et de distribution du gaz (1.A.3.e.i)</u>

En 2024, 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 depuis les deux dernières années.

Figure 59 : Consommations de gaz naturel dans les stations de compressions en France métropolitaine et en Outre-mer

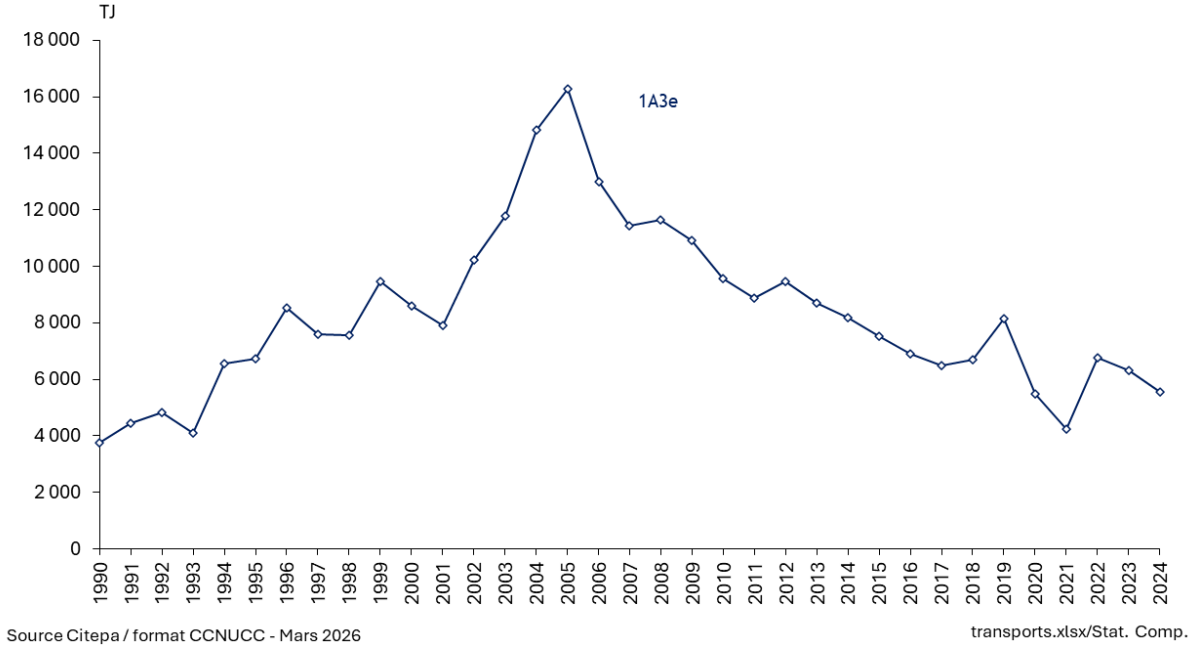
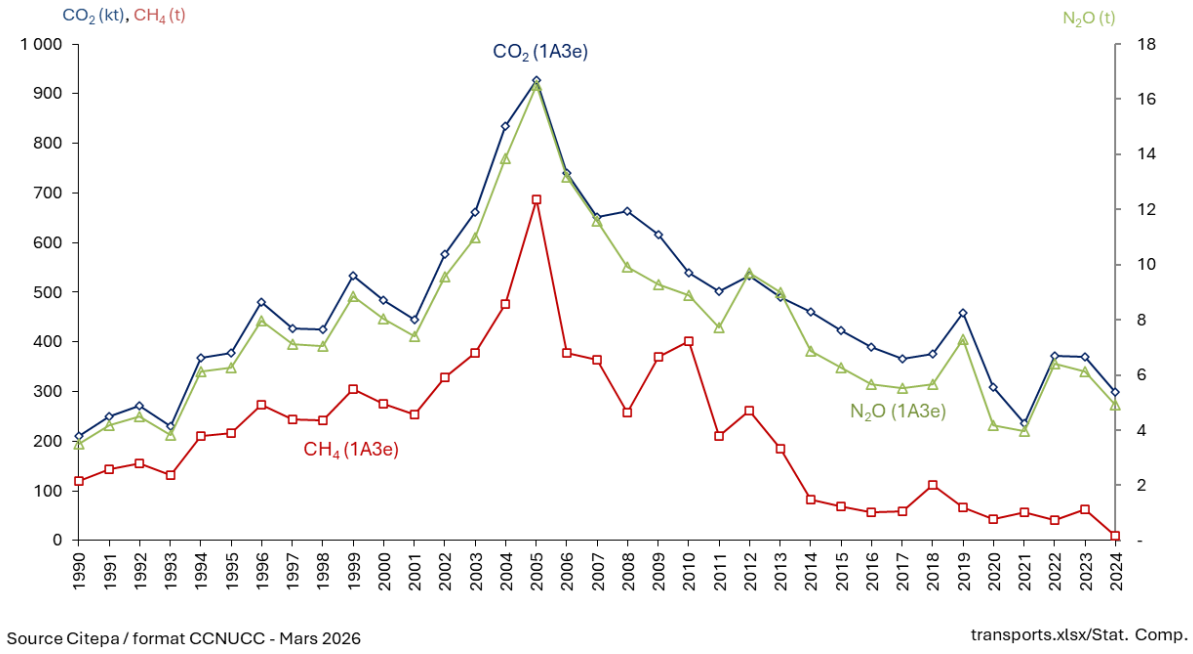


Figure 60 : Emissions de gaz à effet de serre émises par les stations de compression (périmètre France UE)



Autres transports (1.A.3.e.ii.)

En 2024, 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 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. 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 [1388, 1389] (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

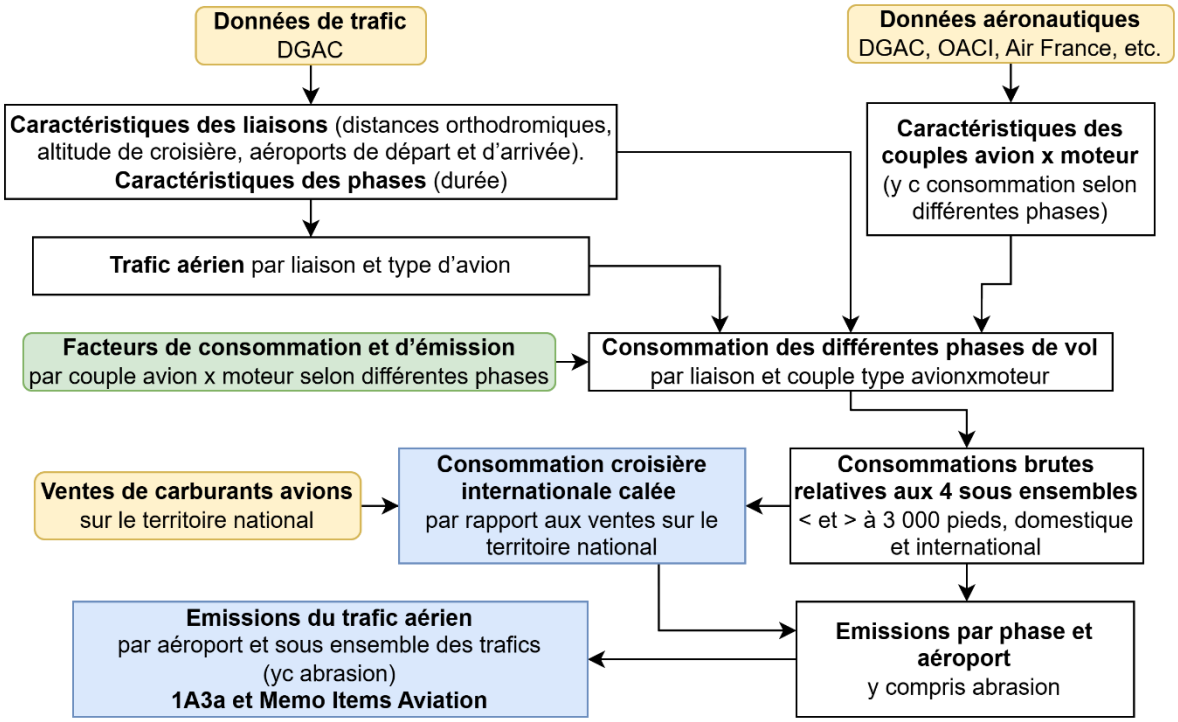


Figure 62 : Evolutions des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre du transport aérien domestique (périmètre France UE)

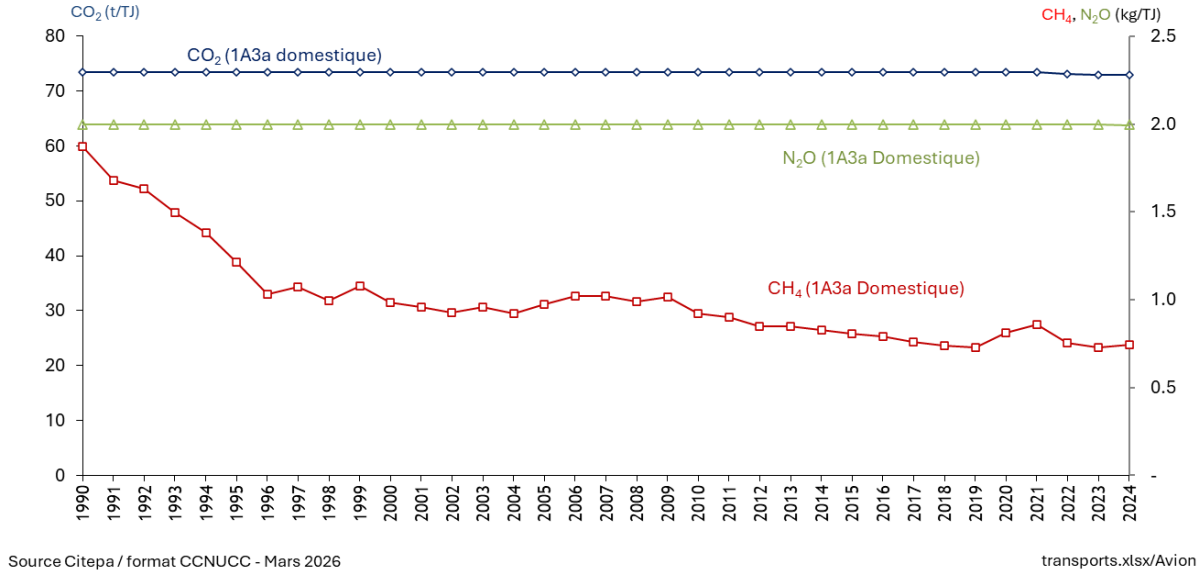
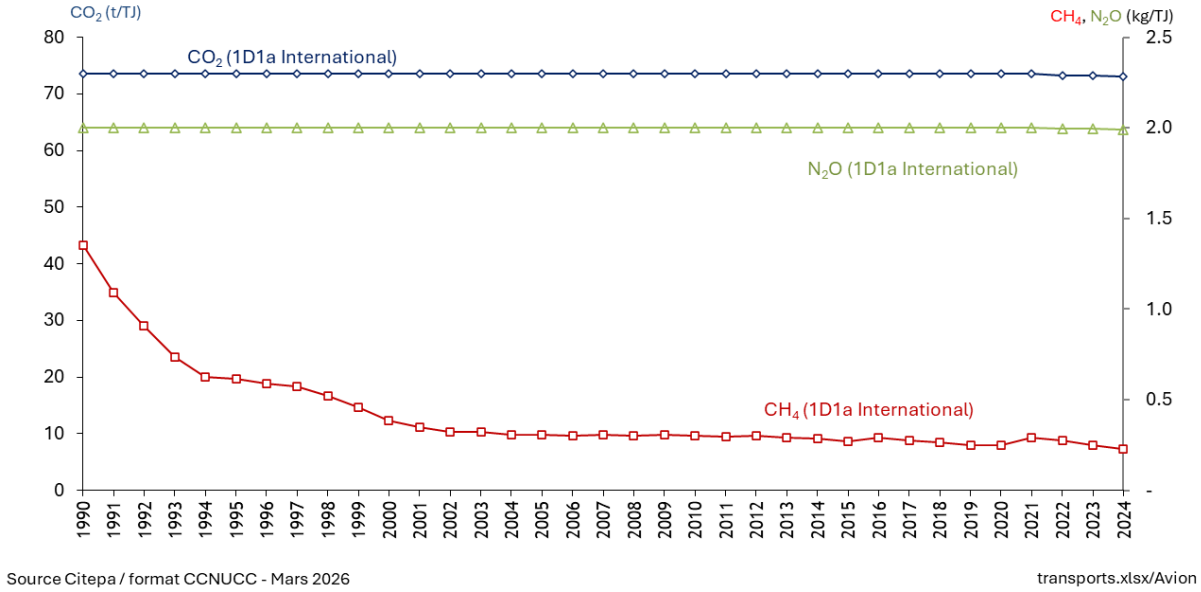


Figure 63 : Evolutions des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre du transport aérien international (hors total)



3.2.7.2.2 Transport routier (1.A.3.b.)

La méthode appliquée est :

<u>CO_2 :</u>

Méthode de rang 3 (méthodologie Tier 3 du guide méthodologique EMEP/EEA), 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.

<u>CH_4, N_2O :</u>

Méthode de rang 3 (méthodologie Tier 3 du guide méthodologique EMEP/EEA), 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 EMEP/EEA [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 :

Etape 1 : Calcul du parc statique (nombre) des véhicules immatriculés en France avec le modèle OPALE ;
Etape 2 : Calcul des données nécessaires à la mise en œuvre de la méthodologie ;
Etape 3 : Calcul des émissions.

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 [31, 54, 55, 56, 57, 58, , 311, 387, 546, 1141, 1156, 1289,] compatible avec la méthodologie EMEP/EEA de rang 3[1134].

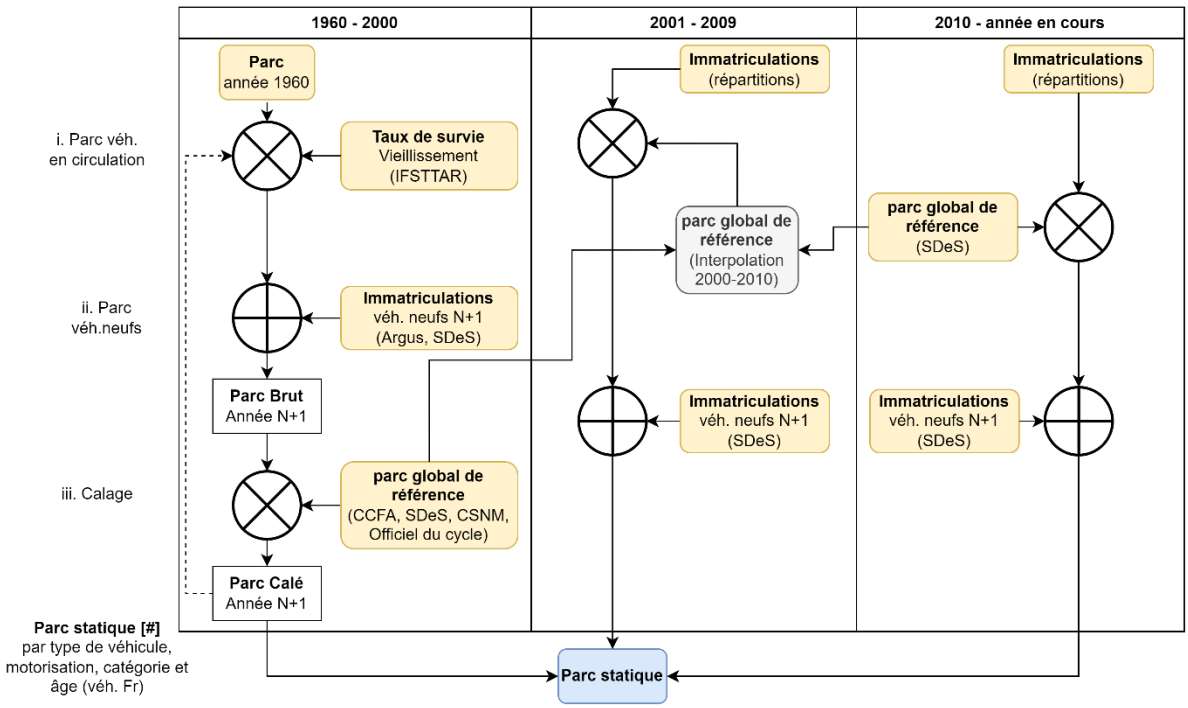
Les données de parc statique disponibles dans les statistiques ne détaillent pas la structure plus fine nécessaire au calcul des émissions (type de véhicule, type de motorisation, cylindrée, rattachement aux normes d'émissions). A partir d'un parc statique détaillé estimé pour l'année 1960, le calcul de parc dans OPALE (cf. **Figure 64**) se fait selon les étapes suivantes 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 (1961 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, chaque année, un certain nombre de véhicules en vieillissant le parc.
   b. Pour les années 2010 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).
   c. Pour les années 2001 à 2009 (hors 2 roues) : afin d'assurer la continuité et la cohérence entre les deux séries de données, par un ajustement du parc global de référence au niveau de détail de la série la plus récente (série 2010 à l'année en cours, cf. point précédent) est mis en œuvre : parc en fonction de l'âge, par type de véhicule et motorisation. Le même principe de calcul que pour la série récente est alors appliqué : e parc de référence ajusté est désagrégé au prorata des données historiques d'immatriculations des véhicules neufs.

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, 546, 551, 1156].

Figure 64 : Logigramme du processus de calcul du parc de véhicules français avec le modèle OPALE.



l'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 4e 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 6e 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 sur les 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 :

$$Parc_{OPALE}(n, type, moteur, catégorie, \hat{a}ge, norme) = \frac{immat(n - \hat{a}ge, type, moteur, catégorie)}{\sum_{catégorie} immat(n - \hat{a}ge, type, moteur, catégorie)} \times c_{Euro}(norme) \times ParcCalage(n, type, moteur, \hat{a}ge)$$

Où :

$Parc_{OPALE}$: Parc statique calculé au format inventaire [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] ;

$catégorie$: catégorie du véhicule en fonction de sa taille ou masse ;

$\hat{a}ge$: âge du véhicule ;

$norme$: norme Euro correspondante à l'année de première mise en circulation du véhicule, selon son $\hat{a}ge$;

$immat$: nombre d'immatriculations de véhicules neufs ;

c_{Euro} : nombre d'immatriculations de véhicules neufs ;

$ParcCalage$: le parc global de référence issu des données statistiques.

L'hypothèse globale est appliquée que 30 % des immatriculations dans l'année qui précèdent la mise en place d'une norme sont conformes à ladite norme. Ainsi, pour une même année d'évaluation n, deux normes Euro successives peuvent intégrer le parc en circulation. Dans ce cas, c_{Euro} vaut 0,7 pour l'ancienne norme et 0,3 pour la norme suivante. Dans les autres cas, c_{Euro} vaut 1,0.

Pour les véhicules roulant au GPL ou au GNV, la structure fine est obtenue en appliquant la répartition fine des véhicules essence, 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 [1546] 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].

Le parc final est déterminé en calculant le parc à mi-année par moyenne arithmétique de deux années consécutives des parcs. La formule appliquée est la suivante :

$$Parc_{OPALE,mi-année}(n, type, moteur, catégorie, âge, norme) = \{Parc_{OPALE}(n-1, type, moteur, catégorie, âge, norme) + Parc_{OPALE}(n, type, moteur, catégorie, âge, norme)\}/2$$

Pour passer à l'étape suivante, le jeu de données de base résultant de la présente étape est utilisé :

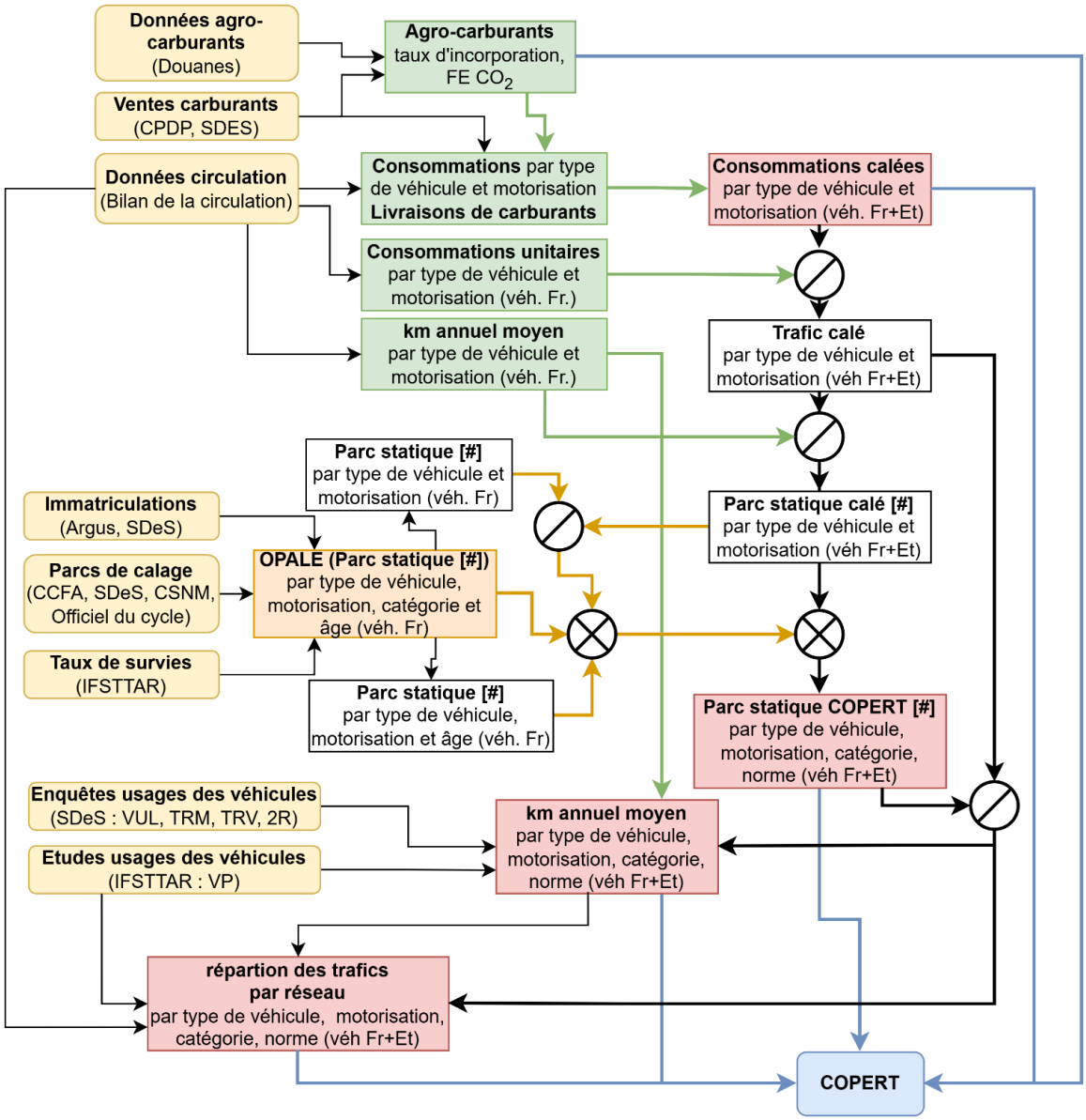
$$\boldsymbol{Parc_{OPALE,mi-année}}$$

Etape 2 : Calcul des données nécessaires à la mise en œuvre de la méthodologie de calcul des émissions

La deuxième étape clé pour les calculs d'émission consiste à réaliser une série de traitements et de calculs afin d'obtenir, par année d'évaluation n, 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,
- La répartition du trafic sur les trois réseaux (urbain, rural, autoroute).

Figure 65 : Logigramme du processus d'estimation des données de base pour le calcul des émissions pour la méthodologie de rang 3 de l'EMEP/EEA.



- *Les consommations de carburants calées sur les ventes en France*

Pour les véhicules français et étrangers, les **consommations de carburants** calées sur les ventes en France hexagonale $Conso_{calé,Fr+Et}$ par $type/moteur$ sont estimées à partir des consommations sur le territoire hexagonal au même de niveau de détail $Conso_{territoire,Fr+Et}$ et du solde aux frontières ($Solde$) issues du bilan de la circulation[27] [31, 1141].

$$Conso_{calé,Fr+Et}(type, moteur) = Conso_{territoire,Fr+Et}(type, moteur) \times \frac{Solde + \sum_{type} Conso_{territoire,Fr+Et}(type, moteur)}{\sum_{type} Conso_{territoire,Fr+Et}(type, moteur)}$$

- $type$ =2 roues, VP, VUL, PL, Bus et cars

[27] 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).

- $moteur$: type de motorisation/carburant [Diesel, essence, électrique ou hybride rechargeable] ;

La différenciation entre les livraisons (ventes CPDP [14] auxquelles sont soustraits les usages non routiers) et les consommations sur le territoire français hexagonal [31, 1141] 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 atmosphériques 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 [31, 1141] sont des estimations de consommation sur le territoire français hexagonal (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 [31, 1141] sont recalés sur les livraisons de carburant du transport routier. Ces dernières sont déterminées comme les livraisons de carburant auxquelles sont soustraites les consommations des usages non routiers estimées par le bilan de la circulation [31, 1141].

- *Le parc statique des véhicules roulant sur la prise de carburant en France*

Le parc statique calculé précédemment $Parc_{OPALE,mi-année}$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 la prise de carburant en France**, comme décrit ci-après.

Le trafic $Trafic_{calé,Fr+Et}$, exprimé en véhicules x kilomètres, par $type$ et $moteur$ (Diesel ou essence uniquement), calé sur les ventes de carburants en France hexagonale est obtenu en divisant les consommations obtenues précédemment par la consommation unitaire [31, 1141] [$ConsoUnitaire_{Fr+Et}$], soit :

$$Trafic_{calé,Fr+Et}(type, moteur[Diesel, essence]) = \frac{Conso_{calé,Fr+Et}(type, moteur)}{ConsoUnitaire_{Fr+Et}(type, moteur)}$$

Ce trafic résultant, aussi nommé parc roulant, correspond au trafic des véhicules circulant sur la prise de carburant en France.

A défaut d'informations aussi détaillées que pour les véhicules ci-dessus, pour les véhicules électriques, GPL et GNV, le calcul suivant est appliqué à partir des kilométrages annuels moyens KMA_{STAT} [31, 1141] fournis par type et moteur :

$$\begin{aligned} Trafic_{calé,Fr+Et}(type, moteur[\text{électrique}, \text{GPL}, \text{GNV}]) \\ = \sum_{catégorie,âge,norme} Parc_{OPALE,mi-année}(type, moteur, catégorie, âge, norme) \\ \times KMA_{STAT}(type, moteur) \end{aligned}$$

Pour les années d'évaluation où les données statistiques KMA_{STAT} ne sont pas disponibles pour les véhicules électriques, GNV et GPL de manière spécifique, les KMA_{STAT} des véhicules à essence de même type sont utilisés comme référence.

Dans la suite des calculs, pour déterminer le parc roulant sur la prise de carburant français $Parc_{calé,Fr+Et}$, en nombre de véhicules, le trafic $Trafic_{calé,Fr+Et}$ est divisé par les kilométrages annuels moyens KMA_{STAT} [31, 1141].

$$Parc_{calé,Fr+Et}(type, moteur) = \frac{Trafic_{calé,Fr+Et}(type, moteur)}{KMA_{STAT}(type, moteur)}$$

Le ratio entre $Parc_{calé,Fr+Et}$ et $Parc_{OPALE,mi-année}$ fournit le coefficient moyen $\bar{\alpha}$ qui intègre la part de véhicules étrangers dans le parc de véhicules roulant sur la prise de carburant en France :

$$\bar{\alpha}(type, moteur) = \frac{Parc_{calé,Fr+Et}(type, moteur)}{Parc_{OPALE,mi-année}(type, moteur)}$$

$$\begin{cases} si\ \bar{\alpha} > 1 \rightarrow de\ véhicules\ étrangers\ intègrent\ le\ parc \\ si\ \bar{\alpha} < 1 \rightarrow de\ véhicules\ français\ quittent\ le\ parc \end{cases}$$

L'hypothèse que les véhicules étrangers ayant fait une prise de carburant en France sont plus jeunes que le parc français est appliquée. Le parc final au niveau le plus fin $Parc_{FINAL}$ est alors calculé comme suit :

$$Parc_{FINAL}(type, moteur, catégorie, \hat{a}ge, norme) = Parc_{OPALE,mi-année}(type, moteur, catégorie, \hat{a}ge, norme) \times \alpha(type, moteur, catégorie, \hat{a}ge, norme)$$

La distribution par âge du coefficient α est définie par :

$$\alpha(type, moteur, \hat{a}ge) = \alpha_0(type, moteur)^{\hat{a}ge_{max} - \hat{a}ge}$$

Où :

- $\hat{a}ge_{max}$ = longévité maximum des véhicules (30 ans pour VP, VUL, bus, cars et PL, 15 ans pour les 2 roues) ;
- α_0 est un paramètre déterminé de manière à respecter la contrainte globale $\bar{\alpha}$, selon un principe d'optimisation sous contraintes :

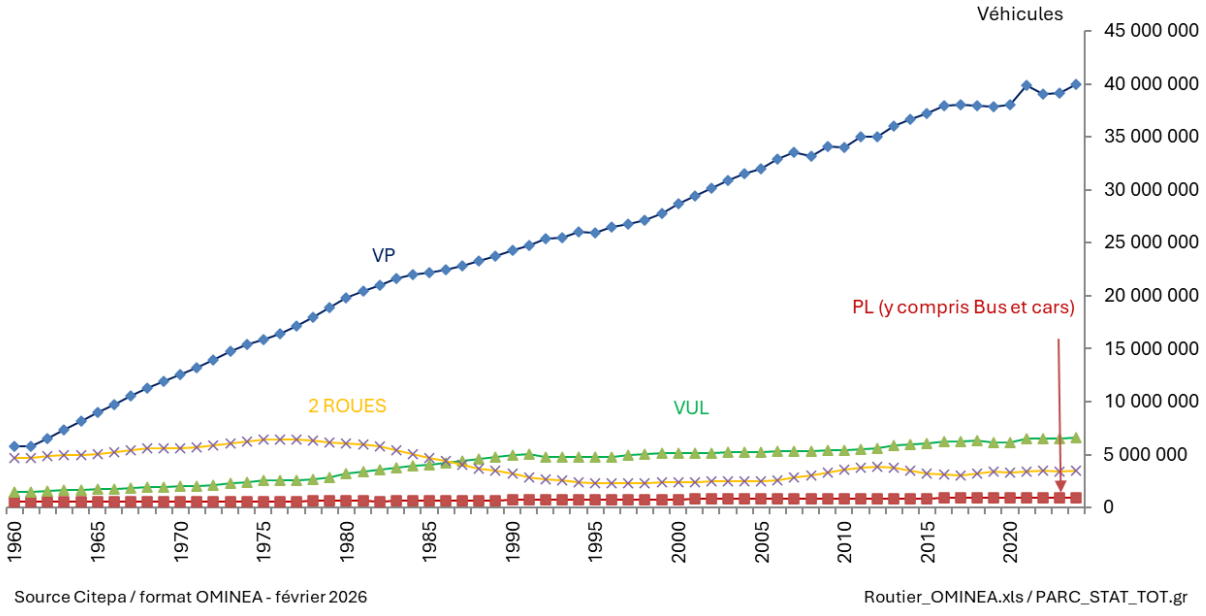
$$\frac{\sum_{catégorie,\hat{a}ge,norme} \alpha(type, moteur, \hat{a}ge) \times Parc_{OPALE,mi-année}(type, moteur, catégorie, \hat{a}ge, norme)}{\sum_{catégorie,\hat{a}ge,norme} Parc_{OPALE,mi-année}(type, moteur, catégorie, \hat{a}ge, norme)} = \bar{\alpha}(type, moteur)$$

Cette définition garantit que :

$$\sum_{catégorie,\hat{a}ge,norme} Parc_{FINAL}(type, moteur, catégorie, \hat{a}ge, norme) = Parc_{calé,Fr+Et}(type, moteur)$$

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 et GNV, les bus Diesel et GNV, les 2 roues, ainsi que tous les véhicules électriques sont des véhicules exclusivement français est prise en compte, soit $\bar{\alpha}$=1 et α =1.

Figure 66 : Parc statique (Nombre) des véhicules routiers en France hexagonale



- *Les distances annuelles parcourues par les véhicules*

Les distances annuelles parcourues par les véhicules KMA_{STAT}, exprimées en kilomètres, sont enfin obtenues au même niveau de détail que le parc statique. Elles sont initialement fixées à partir de diverses études [31, 58, 311], 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]. Ensuite, un bouclage de ces valeurs sur les kilomètres parcourus issus des données statistiques KMA_{STAT} [31, 1141] ajustés est assuré par type et moteur. Pour la série récente hors 2 roues, depuis 2010, les données du bilan de la circulation [1141] présentent les kilomètres parcourus par type, moteur et âge.

Le calage des $KMA_{FINAL,Fr+Et}$sur les données statistiques suit donc le principe suivant en deux étapes, où $classe = (catégorie, âge, norme)$:

$$\frac{\sum_{classe}\left(KMA_0(type, moteur, classe) \times Parc_{FINAL}(type, moteur, classe)\right)}{\sum_{classe} Parc_{FINAL}(type, moteur, classe)} = KMA_{STAT}(type, moteur)$$

Pour les années antérieures à 1990, les valeurs de KMA_{STAT} (n=1990, $type, moteur$) sont gardées comme référence.

Une deuxième étape d'ajustement est réalisée afin d'assurer la cohérence entre les KMA_0 et les $Trafic_{calé,Fr+Et}$:

$$\begin{aligned} KMA_{FINAL}(type, moteur, classe) \\ &= KMA_0(type, moteur, classe) \\ &\times \frac{Trafic_{calé,Fr+Et}(type, moteur)}{\sum_{classe}\left(KMA_0(type, moteur, classe) \times Parc_{FINAL}(type, moteur, classe)\right)} \end{aligned}$$

- *La répartition du trafic sur les trois réseaux (urbain, rural, autoroute)*

Le trafic 〖Trafic〗_FINAL au niveau fin résulte du produit entre 〖Parc〗_(FINAL,Fr+Et) , 〖KMA〗_FINAL et la répartition en pourcentage 〖%Trafic〗_STAT de ce trafic sur les trois réseaux (urbain, rural, autoroute) réseau. Cette répartition est estimée à partir d'éléments relatifs présentés dans le rapport de l'IFSTTAR [547] et fait l'objet d'un recalage sur la répartition par réseau du bilan de la circulation [31, 1141], tous véhicules confondus.

Le trafic au niveau fin est défini par :

$$Trafic_{FINAL}(type, moteur, classe) = Parc_{FINAL}(type, moteur, classe) \times KMA_{FINAL}(type, moteur, classe)$$

La répartition par réseau est ensuite appliquée :

$Trafic_{FINAL}(type, moteur, classe, réseau) = Trafic_{FINAL}(type, moteur, classe) \times \%Trafic_{FINAL}(type, moteur, classe, réseau)$Avec les contraintes de cohérence :

$$\sum_{classe,réseau} Trafic_{FINAL}(type, moteur, classe, réseau) = Trafic_{calé,Fr+Et}(type, moteur)$$

Et :

$$\frac{\sum_{type,moteur,classe} \%Trafic_{FINAL}(type, moteur, classe, réseau)}{\sum_{type,moteur,classe,réseau} \%Trafic_{FINAL}(type, moteur, classe, réseau)} = \%Trafic_{STAT}(réseau)$$

Où :

$$\sum_{réseau} \%Trafic_{STAT} = 1$$

Pour passer à l'étape suivante, les quatre jeux de données de base résultant de la présente étape sont utilisés :

$\boldsymbol{Parc_{FINAL}}$, $\boldsymbol{KMA_{FINAL}}$, $\%\boldsymbol{Trafic_{FINAL}}$ et $\boldsymbol{Conso_{calé,Fr+Et}}$).

Etape 3 : Calcul des émissions

Les méthodologies les plus fines de l'EMEPsont utilisées pour estimer les émissions. La méthodologie de rang 3 est utilisée pour les émissions à l'échappement [1134] et par évaporation [1155]], tandis que la méthodologie de rang 2 est appliquée aux émissions liées à l'abrasion [1286]. Les données d'entrée utilisées sont les celles mentionnées précédemment, qui sont également utilisées pour les calculs des autres types d'émissions (liées à l'utilisation des climatisations). Le processus détaillé ci-après est réalisé par année d'évaluation n.

Réalisation des balances énergétiques

Pour la réalisation des calculs de consommation de carburants, et de la balance énergétique par la suite, le calcul des consommations unitaires est d'abord réalisé selon la méthodologie de rang 3 de l'EMEP/EEA [1134] en fonction des vitesses associées au type de réseau vit, soit :

$$CU_{EMEP}(type, moteur, catégorie, \hat{a}ge, norme, vit)$$

La variation des vitesses sur les différents réseaux (urbain, rural, autoroute) [546] est prise en compte pour représenter au mieux la réalité des conditions de trafic en France hexagonale.

En complément, les consommations unitaires de la base de données de l'EEA CU_{EEA} [545] sont utilisées pour ajuster l'évolution des CU_{EMEP} d'une norme à l'autre, à parc de véhicules constants $(type, moteur, catégorie, \hat{a}ge, vit)$. L'objectif est que les consommations unitaires ajustées soient cohérentes avec les spécificités du parc et les conditions de trafic en France hexagonale.

$$CU_{EMEP-ajusté}(type, moteur, catégorie, \hat{a}ge, norme, réseau, vit) = CU_{EMEP}(type, moteur, catégorie, \hat{a}ge, norme, réseau, vit) \times \frac{CU_{EEA}(type, moteur, \hat{a}ge)}{CU_{EEA}(type, moteur, \hat{a}ge - 1)}$$

Le calage de ces consommations calculées sur les $Conso_{calé,Fr+Et}$, par type et moteur, conduit à un processus d'ajustement des consommations unitaires afin d'obtenir des balances énergétiques. Cet ajustement est réalisé de telle sorte que les moyennes des consommations unitaires par type et moteur correspondent aux CU_{STAT} issues du bilan de la circulation [1141].

Les consommations de carburant (essence + bio-essence, gazole + bio-gazole, GPLc, GNV) sont ainsi calculées selon l'équation suivante, où $classe = (catégorie, \hat{a}ge, norme)$:

$$conso_{FINAL}(type, moteur) = \sum_{classe,réseau} Trafic_{FINAL}(type, moteur, classe, réseau) \times \left(CU_{EMEP-ajusté}(type, moteur, classe, réseau, vit) \times c_{calage}(type, moteur)\right)$$

Les coefficients de calage c_{calage} pour la réalisation des balances énergétiques sont calculés de manière à converger vers la satisfaction simultanée des deux objectifs suivants, selon un principe d'optimisation sous contraintes :

$$conso_{FINAL}(type, moteur) = Conso_{calé,Fr+Et}(type, moteur)$$

Et

$$\frac{conso_{FINAL}(type, moteur)}{\sum_{classe,réseau} Trafic_{FINAL}(type, moteur, classe, réseau)} = CU_{STAT}(type, moteur)$$

Pour les véhicules à GPL et à GNV, les $Conso_{calé,Fr+Et}$ proviennent des données statistiques, respectivement [14] et [1].

Pour les années d'évaluation antérieures à 1990, les données de vente sont fournies de telle sorte que les $Conso_{calé,Fr+Et}$ soient disponibles par moteur, la balance énergétique réalisée de manière agrégée, en cohérence

avec ce niveau de détail. En outre, à défaut de données de CU_{STAT}, les coefficients de calage c_{calage} appliqués en 1990 sont conservés constants.

Figure 67 : logigramme de processus d'estimation des émissions par le modèle COPERT

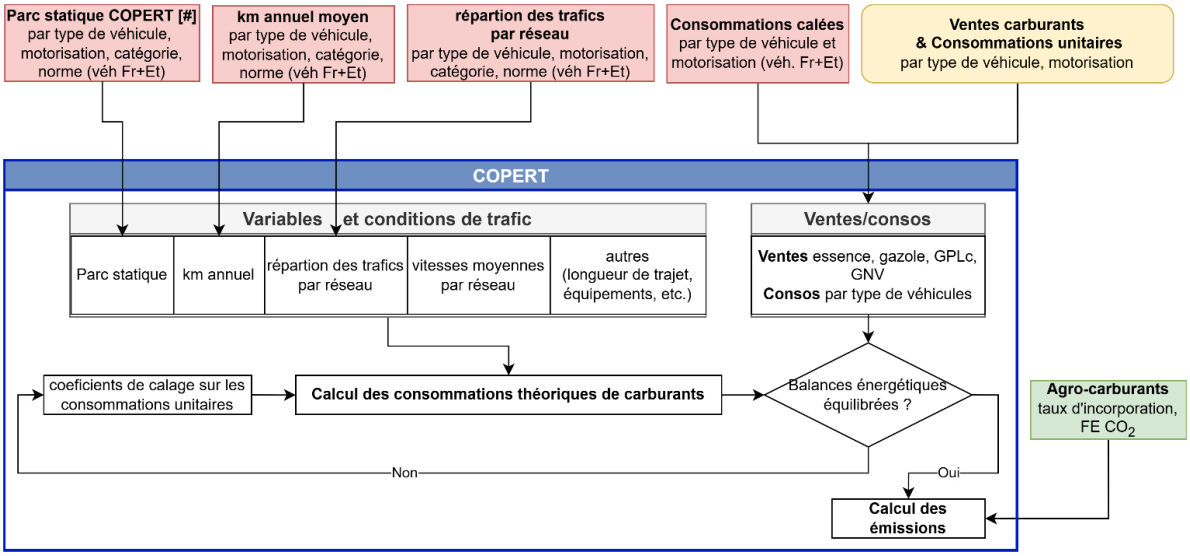


Figure 68 : Kilométrage moyen des véhicules routiers en France hexagonale

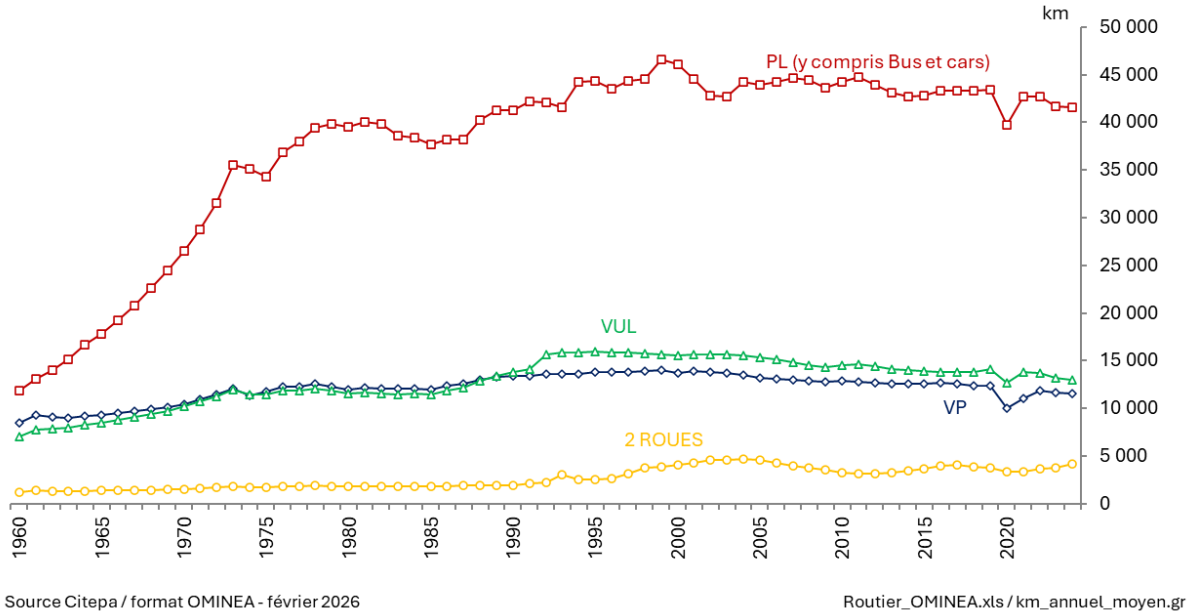
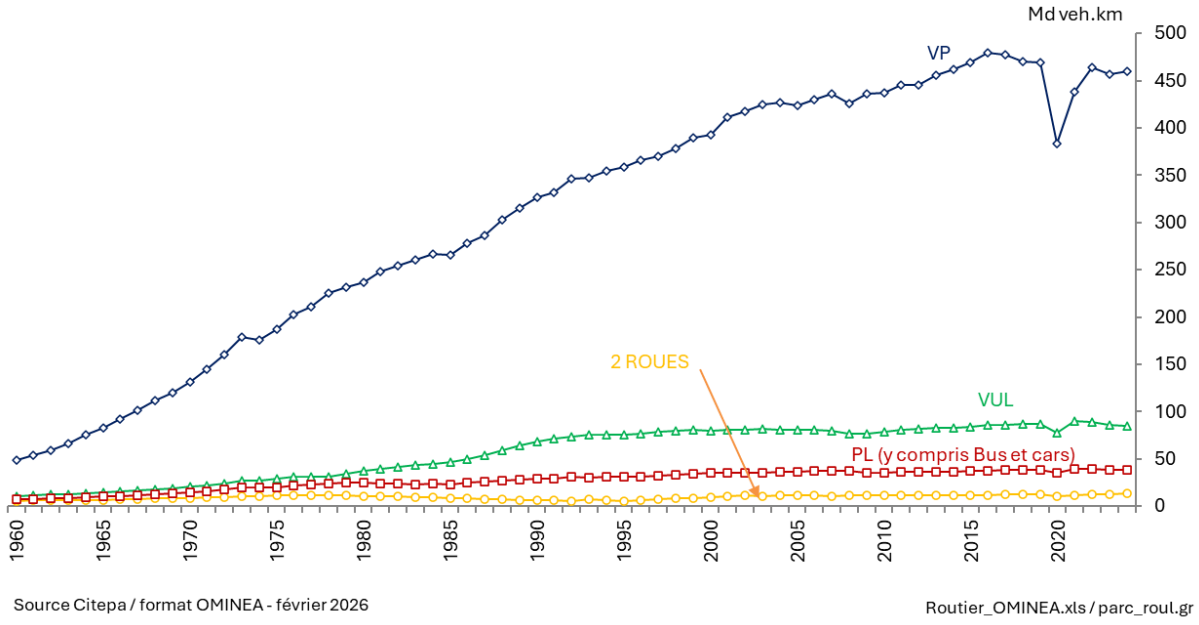


Figure 69 : Parc roulant (Md véhiculesxkilomètre) des véhicules routiers en France hexagonale



Calcul des émissions pour les émissions à l'échappement et par évaporation

Dans un deuxième temps, la méthodologie EMEP/EEA 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

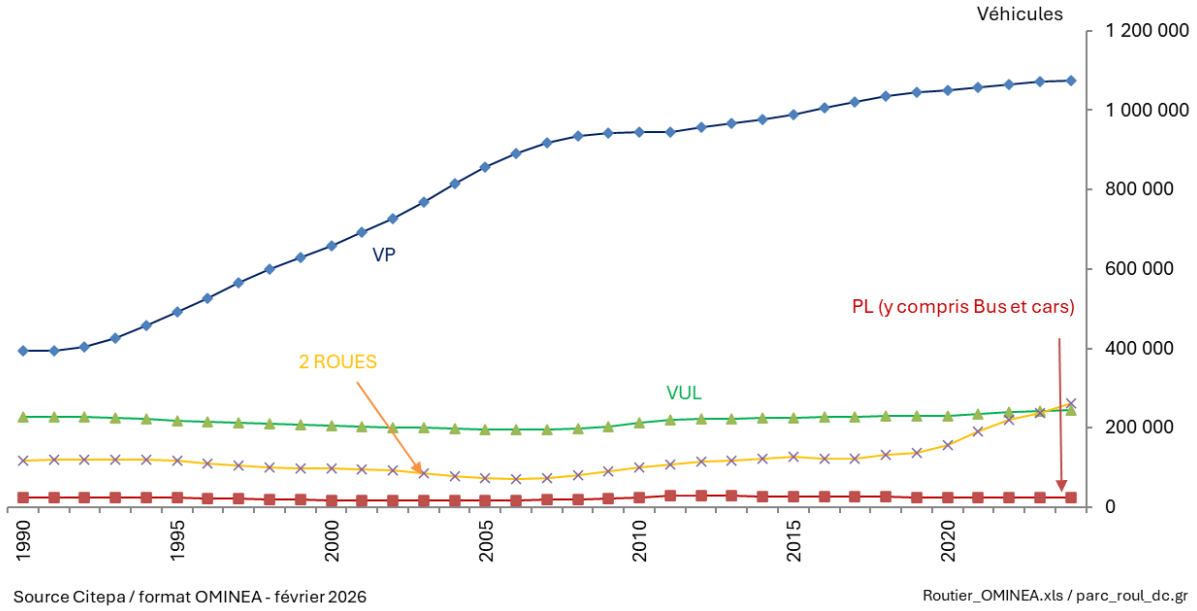
Outre-mer

Les données pour le calcul des émissions pour l'Outre-mer y compris les PTOM sont dérivées en partie des données de la France hexagonalepour 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 France hexagonale. Les ratios par grands

types de véhicules entre les données de la France hexagonaleet les données de l'Outre-mer sont appliqués à chaque catégorie de véhicule (norme – cylindrée/poids) du parc de la France hexagonalepour obtenir le parc de l'Outre-mer global (y compris PTOM).

Figure 70 : : Parc statique (Nombre) des véhicules routiers en Outre-mer (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 EMEP/EEA [1134] correspondent à ceux de la France hexagonale. La balance énergétique est établie en utilisant les coefficients de calage des consommations unitaires des mêmes années d'évaluation que pour la France hexagonale. Des ajustements des kilométrages annuels moyens sont ensuite réalisés afin d'obtenir une balance énergétique équilibrée. Les émissions par territoire sont réparties au prorata des consommations de carburants dans chaque territoire.

Figure 71 : Parc roulant (Md véhiculesxkilomètre) des véhicules routiers en Outre-mer (y compris PTOM)

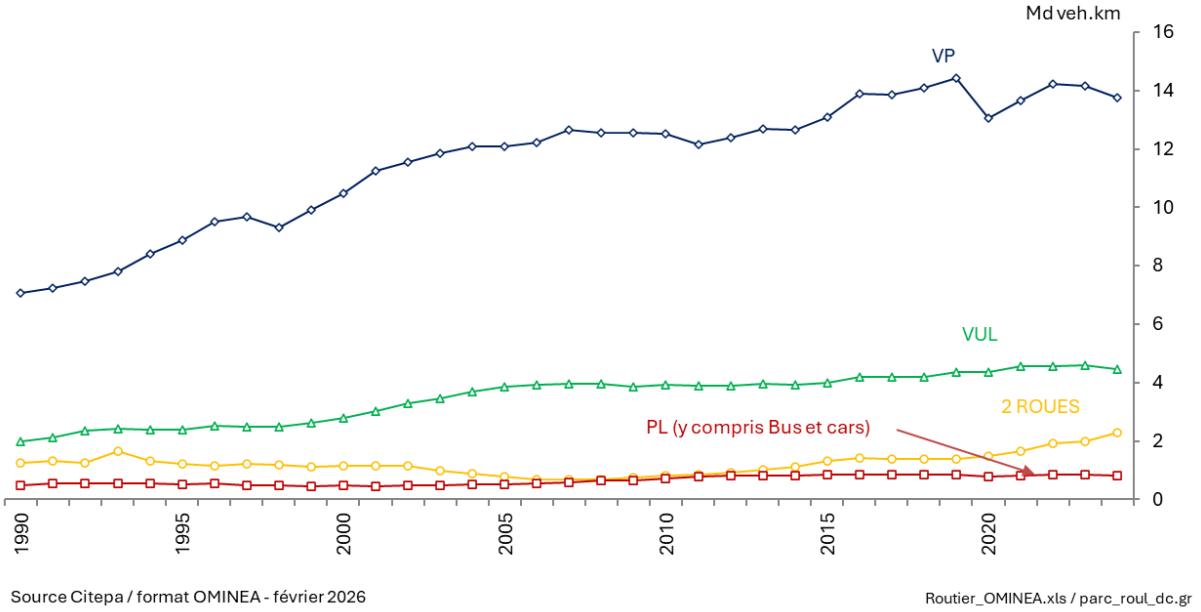
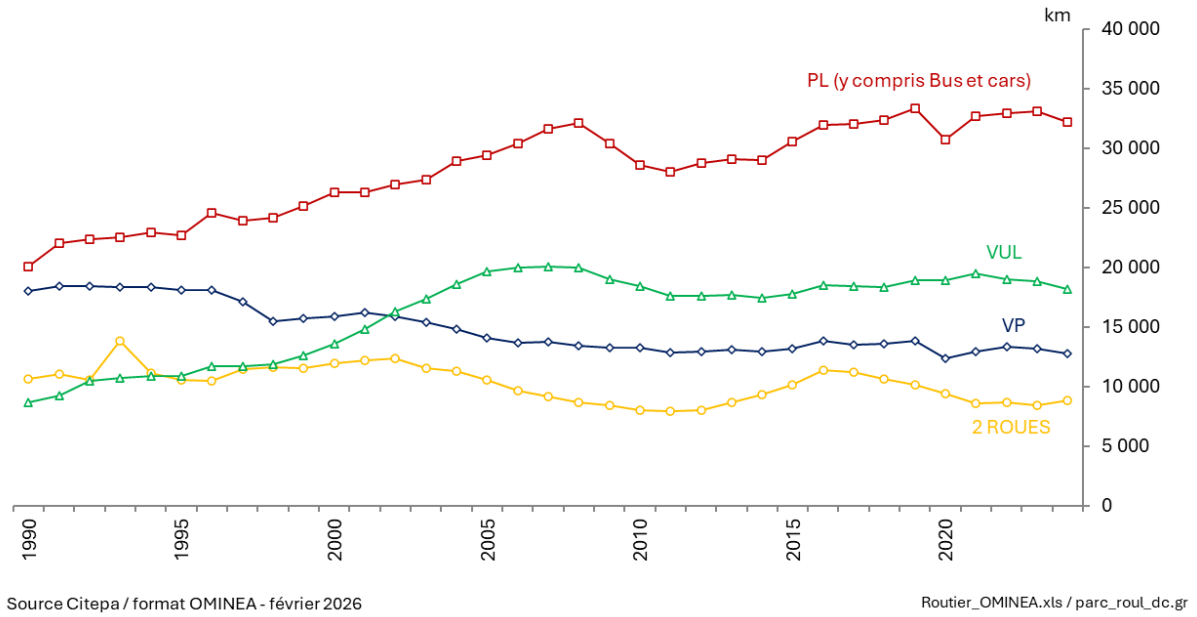


Figure 72 : Kilométrage moyen des véhicules routiers en Outre-mer (y compris PTOM)



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.

Emissions de CO_2

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 France hexagonale.

L'estimation des émissions de CO_2 issues de la combustion des agro-carburants est réalisée en intégrant au modèle méthodologique EMEP/EEA [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 [1398], 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 81 : Facteurs d'émission de CO2 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 guide méthodologique 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 guide méthodologique EMEP/EEA [1134].

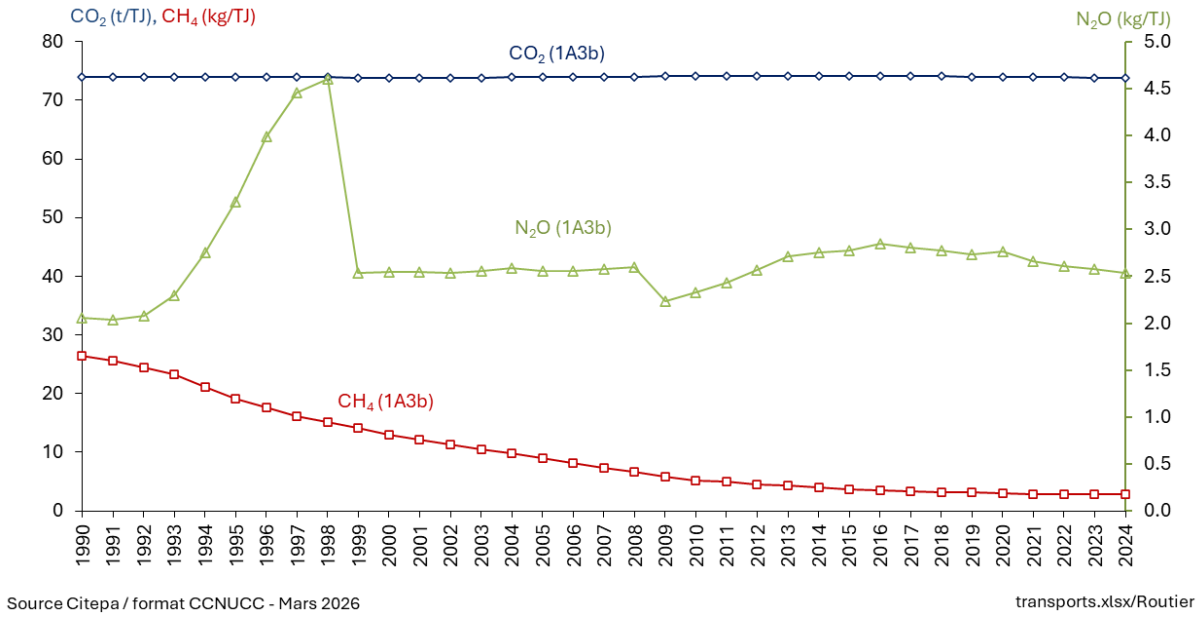
Pour estimer les émissions de N_2O issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission de N_2O des produits pétroliers ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

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 73 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) du transport 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], de la dernière édition (2019) du memento statistique du SDES [1345] et du bilan de la circulation [31, 1141].

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

Du fait de l'assimilation du moteur des locomotives Diesel au moteur des poids lourds routiers conventionnels[28], i.e. sans post-traitement, le facteur d'émission tiré de la section routier du guide méthodologique EMEP/EEA [1281] est utilisé. La valeur moyenne pour tous les équipements est de 10,6 g/GJ.

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 guide méthodologique 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 guide méthodologique 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

[28] 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).

fait de l'assimilation du moteur des locomotives Diesel au moteur des poids lourds routiers conventionnels (i.e. sans post-traitement)[28].

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 guide méthodologique 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 guide méthodologique 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 [669] (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 74 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du ferroviaire.

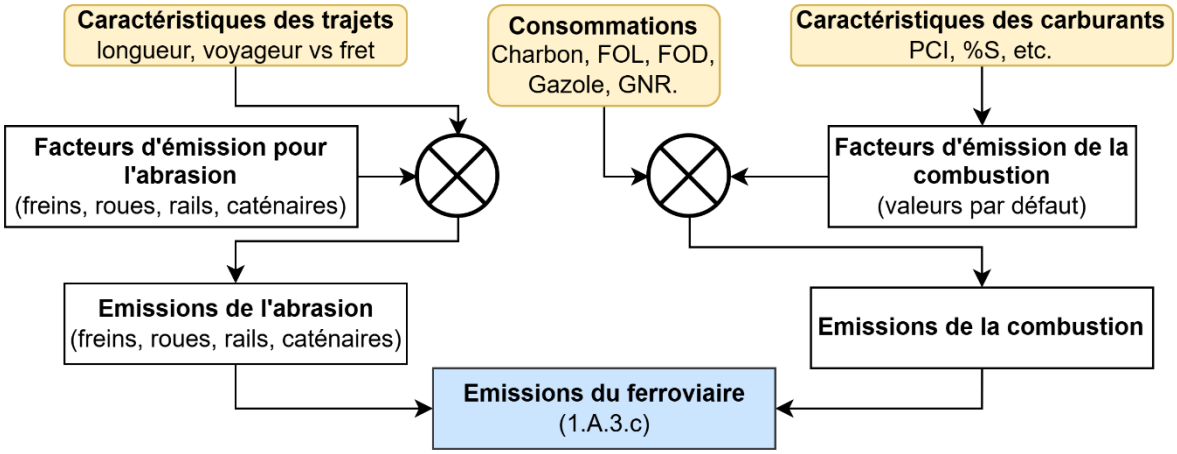
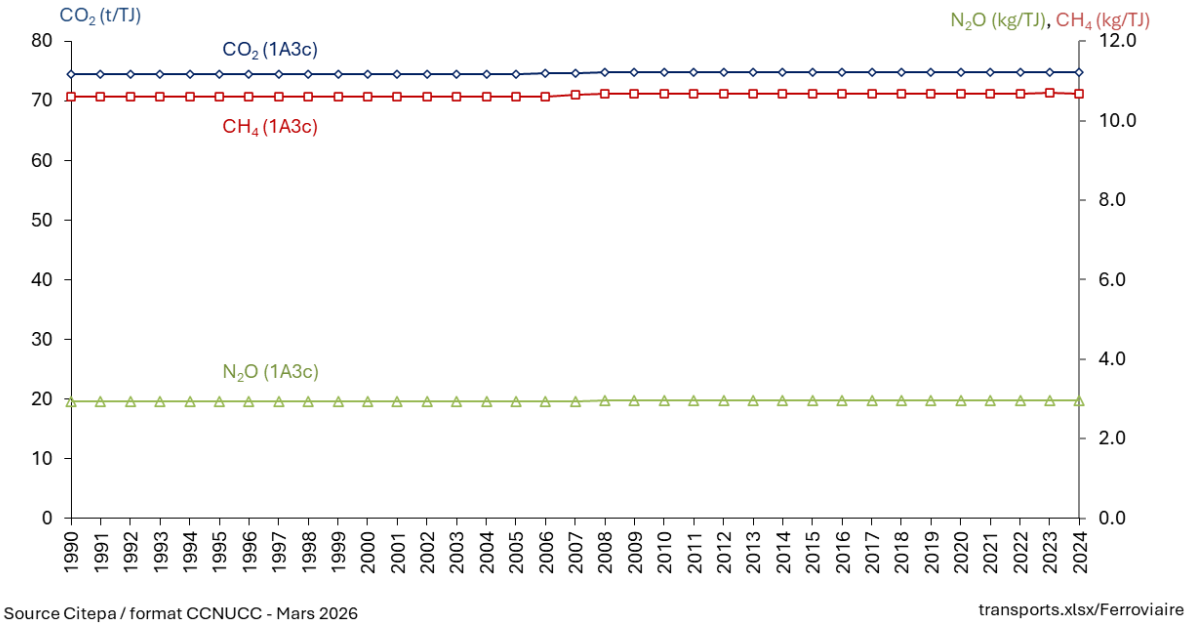


Figure 75 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) du transport ferroviaire

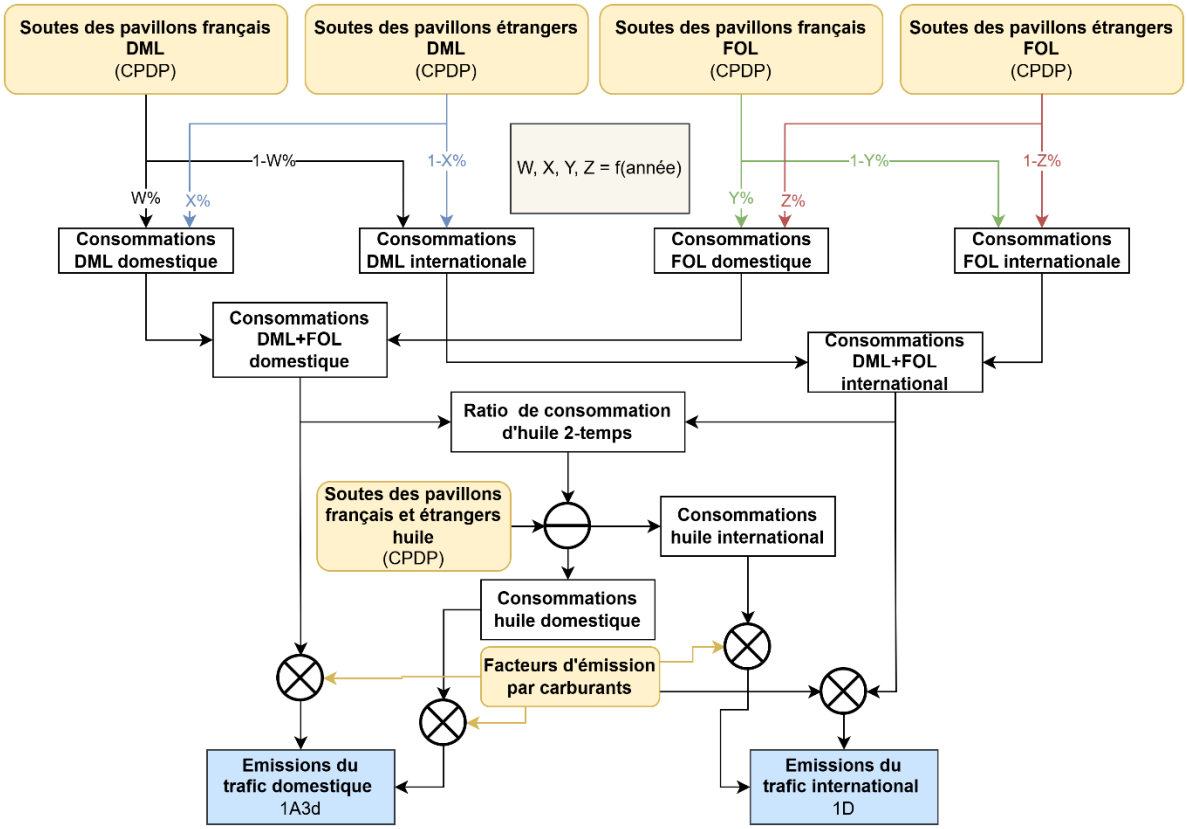


3.2.7.2.4 Transport maritime et voie navigable (1.A.3.d.)

Les émissions sont calculées à partir des ventes de combustibles et de facteurs d'émissions.

Transport maritime

Figure 76 : 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 marine 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 marine 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

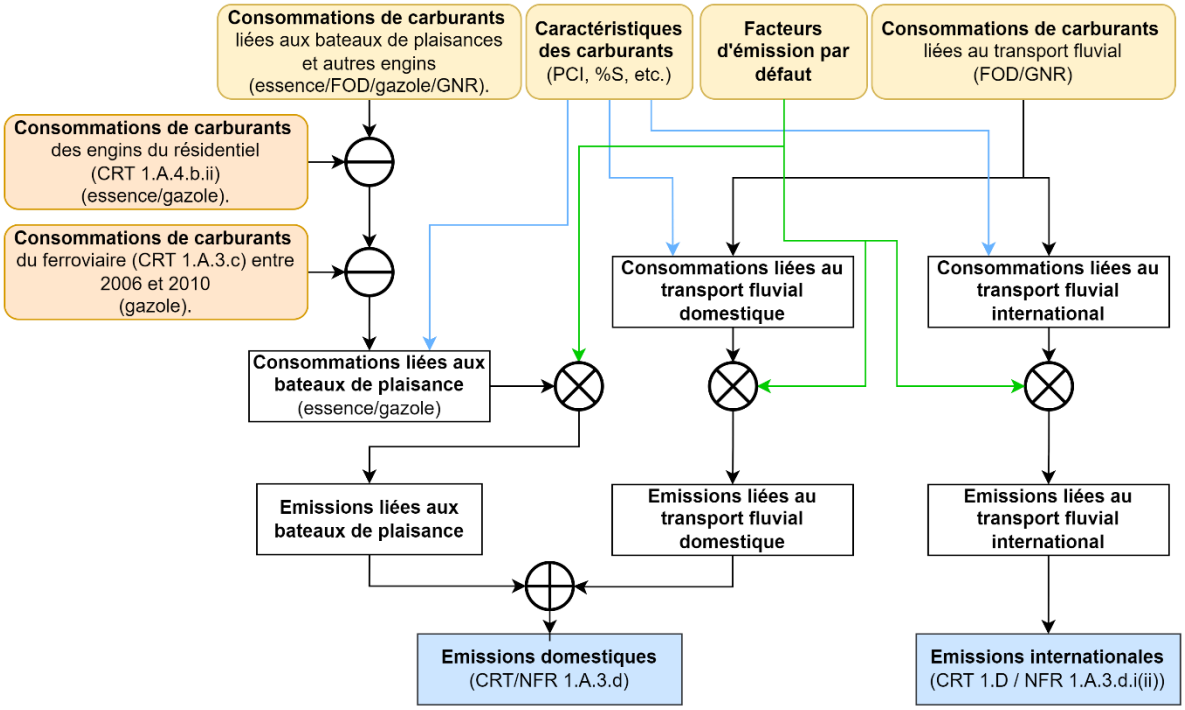
Deux sous-secteurs se distinguent dans ce chapitre : les bateaux dédiés au transport de marchandises de la navigation intérieure (trafic fluvial marchandise) et les bateaux de plaisance & autres usages (bateaux équipés de moteurs auxiliaires, bateaux à moteurs pour l'usage professionnel, bateaux de plaisances). 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 [31, 1141] 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 [31, 1141] (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 [31, 1141] (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 du bilan annuel des transports [31, 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 (en tonnes x kilomètres) du transport de marchandises [31, 1141]. 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 77 : 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.

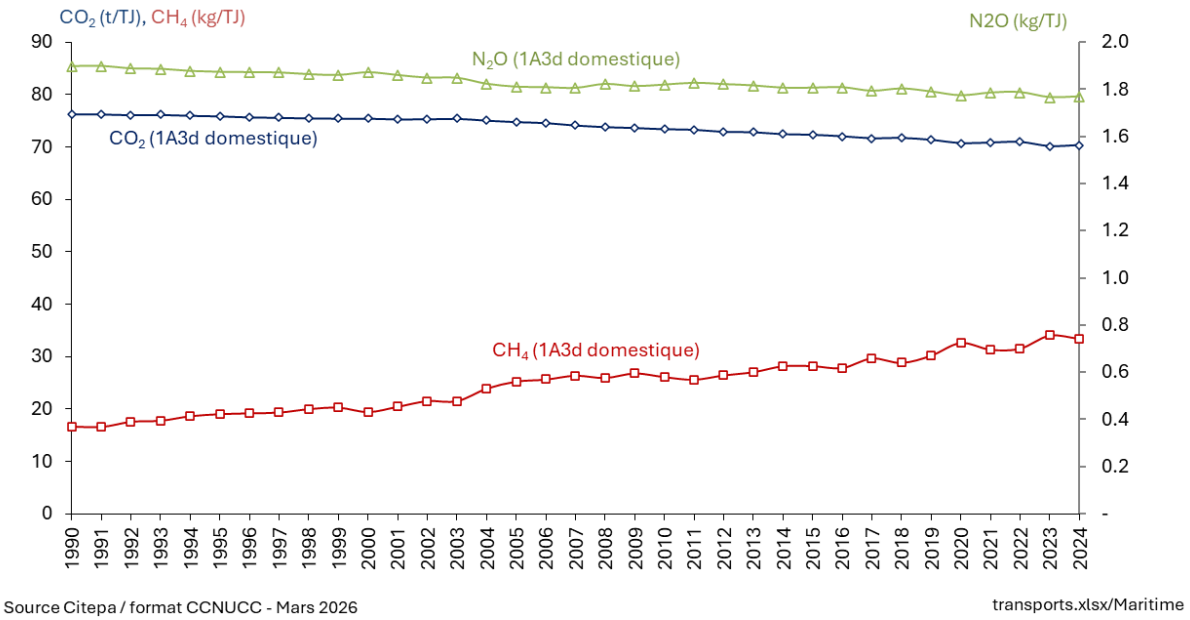
Émissions de CH_4

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

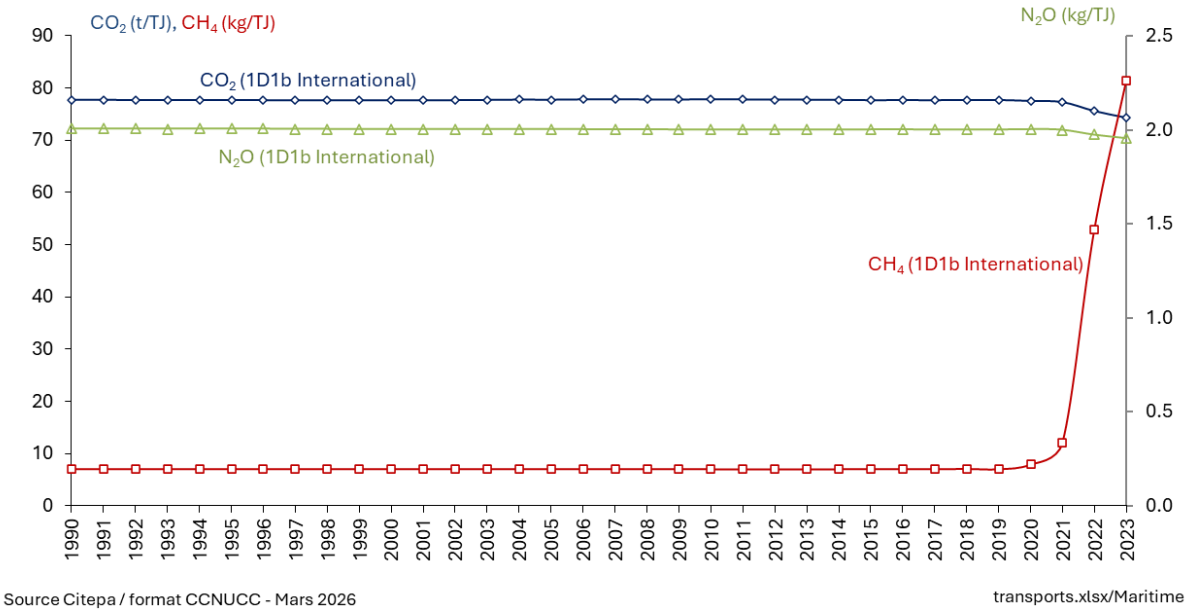
Le facteur d'émission utilisé est établi à 1,9 g N_2O/GJ pour le gazole et à 1,5 g N_2O/GJ pour l'essence. L'origine des facteurs d'émission de base est la référence [669].

Figure 78 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) du transport maritime domestique



L'augmentation continue du facteur d'émission de CH_4 est liée à la proportion grandissante d'essence dans le mix énergétique.

Figure 79 : Evolution des facteurs d'émission de GES du transport maritime international



L'augmentation soudaine du CH_4 à partir de 2021 est liée à la vente de GNL pour les navires faisant du trafic international.

3.2.7.2.5 Autres transports (1.A.3.e.)

<u>Stations de compression du réseau de transport et de distribution du gaz (1.A.3.e.i.)</u>

La méthode appliquée est de rang GIEC 2.

Les données de consommation de gaz sont disponibles pour les différents sites ou entreprises [19] 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.

A noter que depuis l'édition 2024, à partir des déclarations de consommation de gaz naturel (NAPFUE 301), nous appliquons sur toute la série historique (notamment à partir de 2012) le taux de biométhane injecté sur le réseau afin de différencier les émissions de ces deux combustibles (cf. section générale énergie).

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 80 : Logigramme du processus d'estimation des émissions des stations de compression.

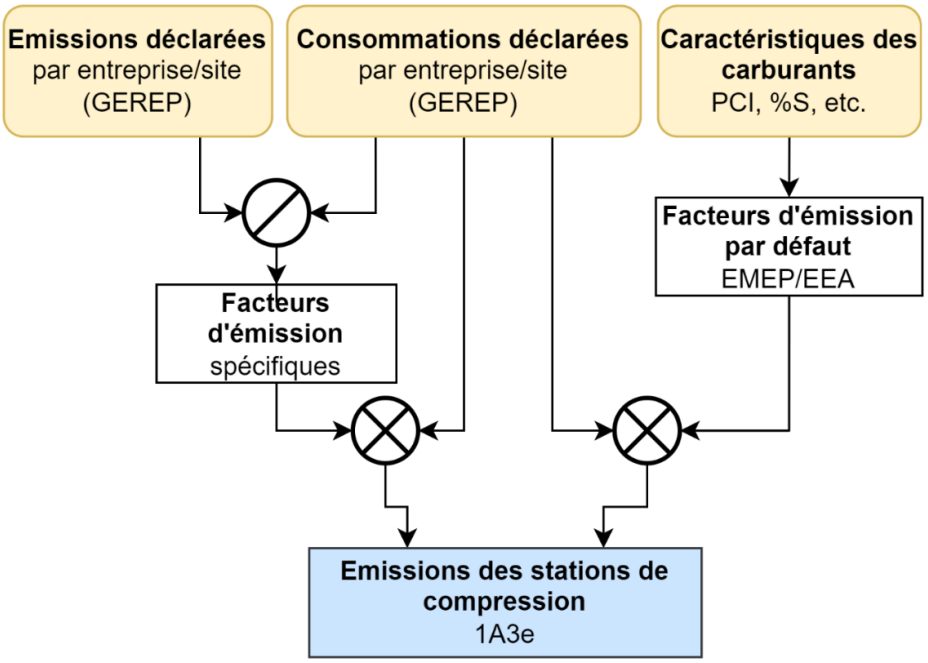
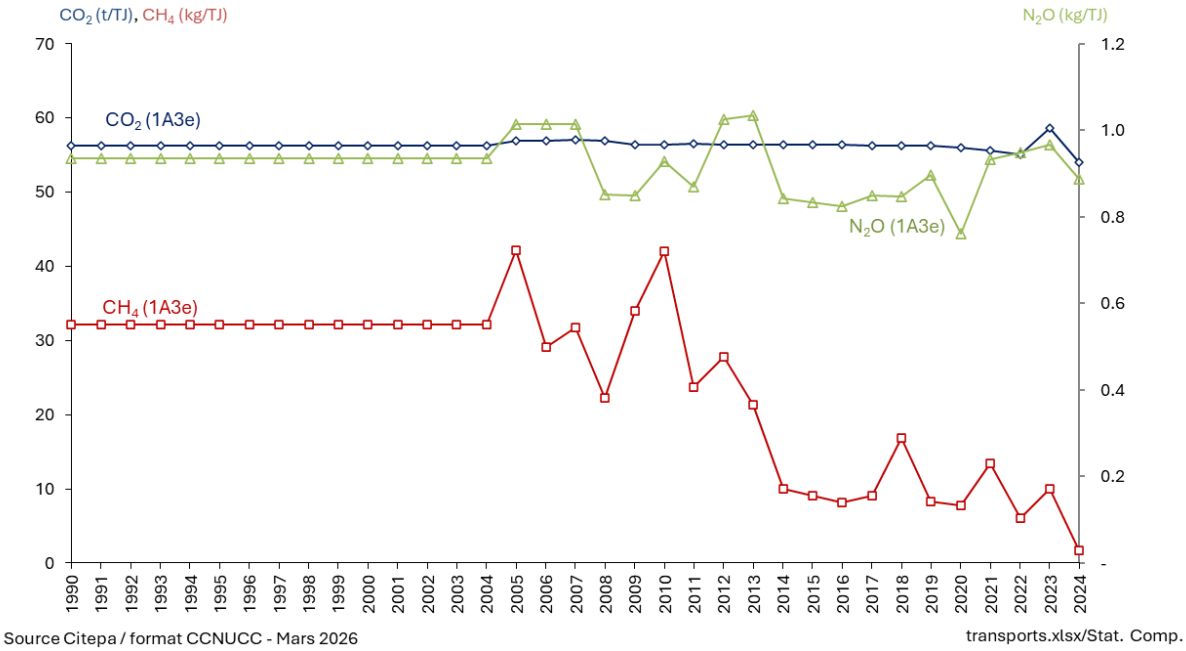


Figure 81 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre France UE) des stations de compression



<u>Autres transports (1.A.3.e.ii.)</u>

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.

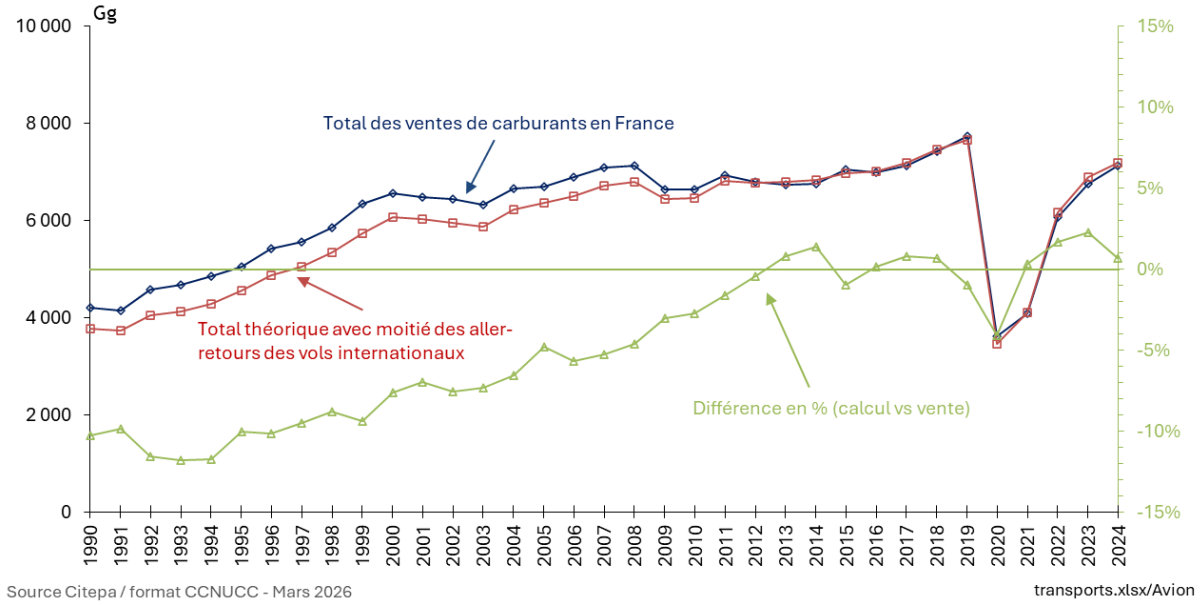
L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes associées au secteur est effectuée au 4ème niveau de la catégorie CRT (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.).

<u>Les incertitudes des données d'activité</u>

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 82 : 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

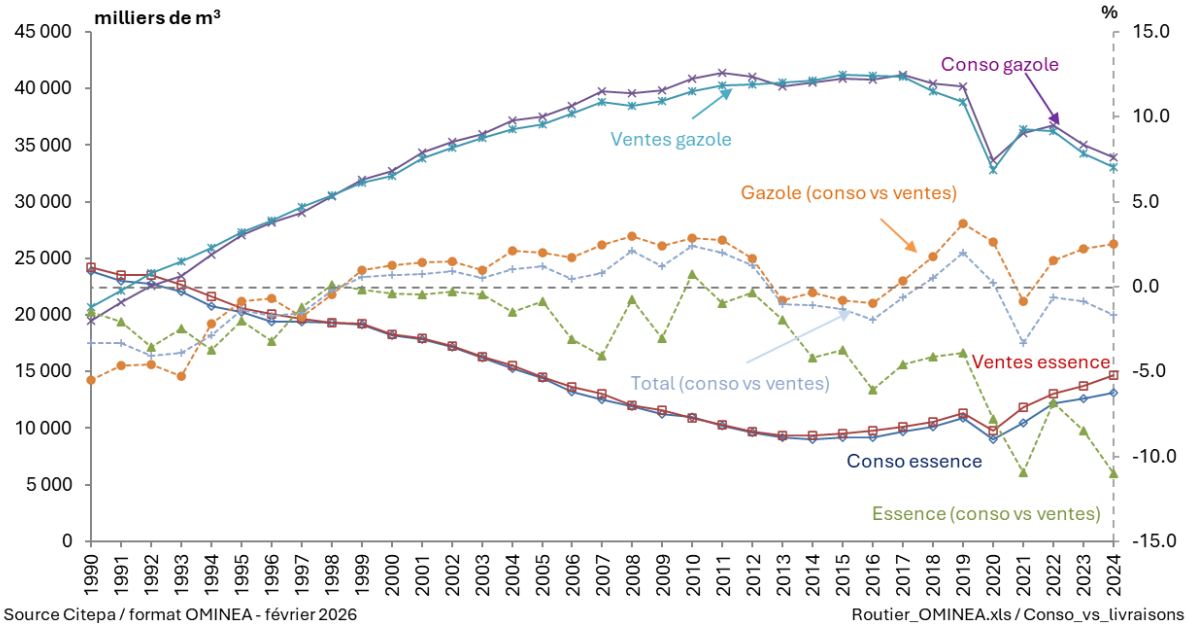
Les incertitudes des facteurs d'émission de CH_4 et de N_2O, hors transport routier, sont issues du guidebook EMEP/EEA [1134] (cf. section 1.6).

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 83**).

Figure 83 : Comparaison entre les consommations de carburants du routier sur le territoire et les ventes/livraisons à usage routier (en France hexagonale)



Afin d'estimer les incertitudes des activités (trafics et consommations) et des émissions, une simulation fondée sur la méthode de Monte Carlo a été réalisée 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 :

$$C_f = \sum_{mot \in M(f)} \sum_{veh} \sum_{norme} N_{veh,mot,norme} \times km_{veh,mot,norme} \times CU_{veh,mot,norme}$$

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) ;
- *M(f)* : ensemble des motorisations correspondant au carburant *f*[29] ;
- 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 ;

[29] Par exemple, pour le carburant essence, les motorisations possibles sont : « essence », « hybride essence non-rechargeable » et « hybride essence rechargeable ».

- 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 consiste 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. Lors de ce bouclage sur les consommations totales, un bouclage sur des consommations unitaires tirées aléatoirement à l'étape 5 est également réalisé sur les consommations unitaires à partir des consommations unitaires par type de véhicule et motorisation issues des statistiques nationales. Comme les consommations totales, *mutatis mutandis*, une consommation unitaire en dehors de l'intervalle fait recommencer la simulation 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, pour le CO_2, à partir des tirages de la consommation, soit, pour le CH_4 et le N_2O, à partir des trafics.
8. Les étapes 1 à 8 sont répétées jusqu'à convergence de l'incertitude des émissions totales.

Les incertitudes des facteurs d'émission de CO_2 de l'essence et du gazole ont été calculées 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 20 000 simulations, les calculs donnent :

- une incertitude de 1,3 % et une de 2,2 % pour les émissions de CO_2 de 1990 et 2024 respectivement,
- une incertitude de 38 % et une de 15 % pour les émissions de CH_4 de 1990 et 2024 respectivement,
- une incertitude de 31 % et une de 18 % pour les émissions de N_2O de 1990 et 2024 respectivement,

La Figure 84 montre les distributions des émissions de CO_2 (en Mt), de CH_4 (en kt) et de N_2O (en kt) pour 20 000 simulations. Les valeurs moyennes et les incertitudes sont représentées par une ligne rouge verticale et des lignes vertes verticales respectivement.

Figure 84 : Distributions des émissions de CO_2, CH_4 et N_2O du transport routier

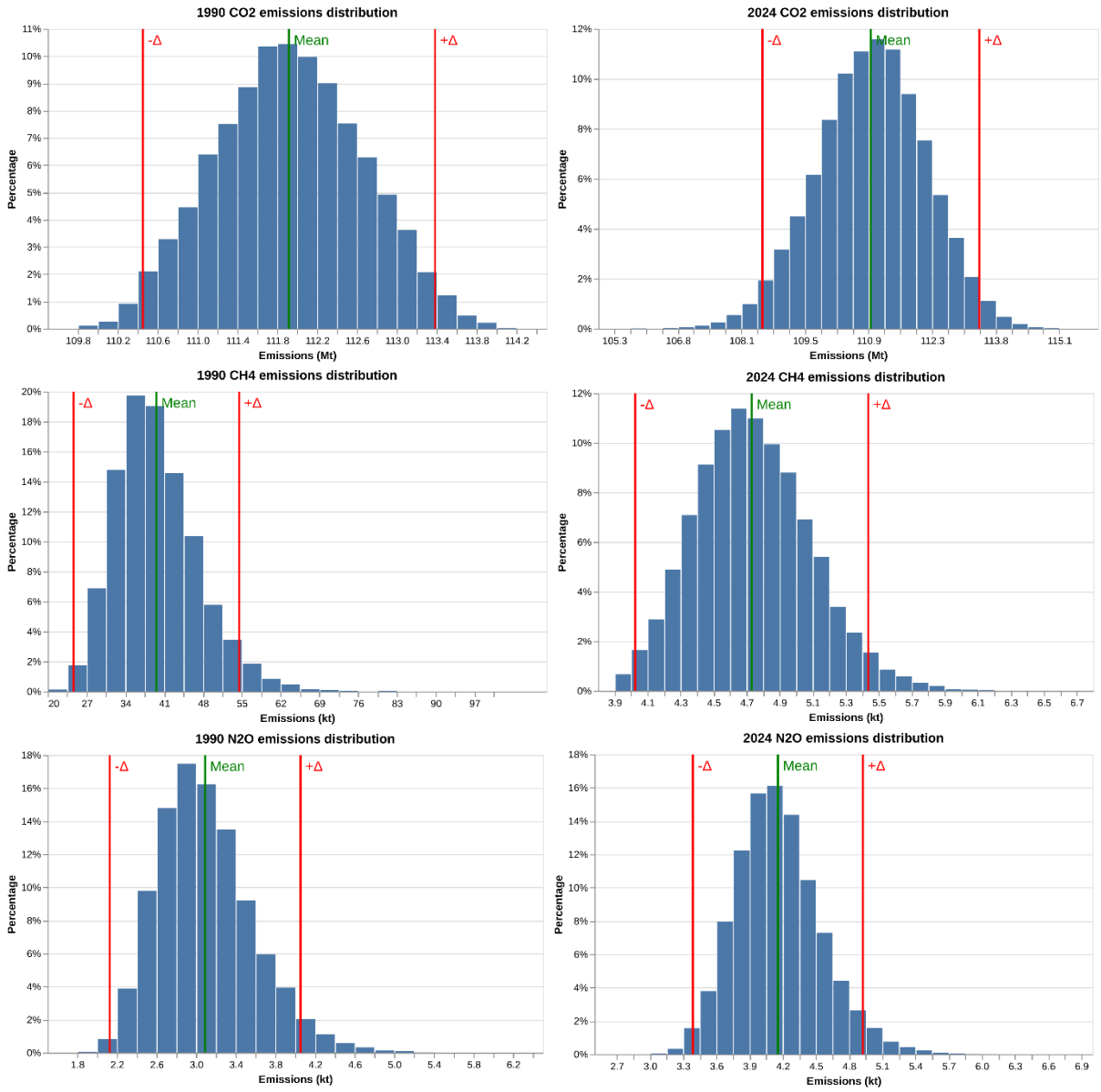
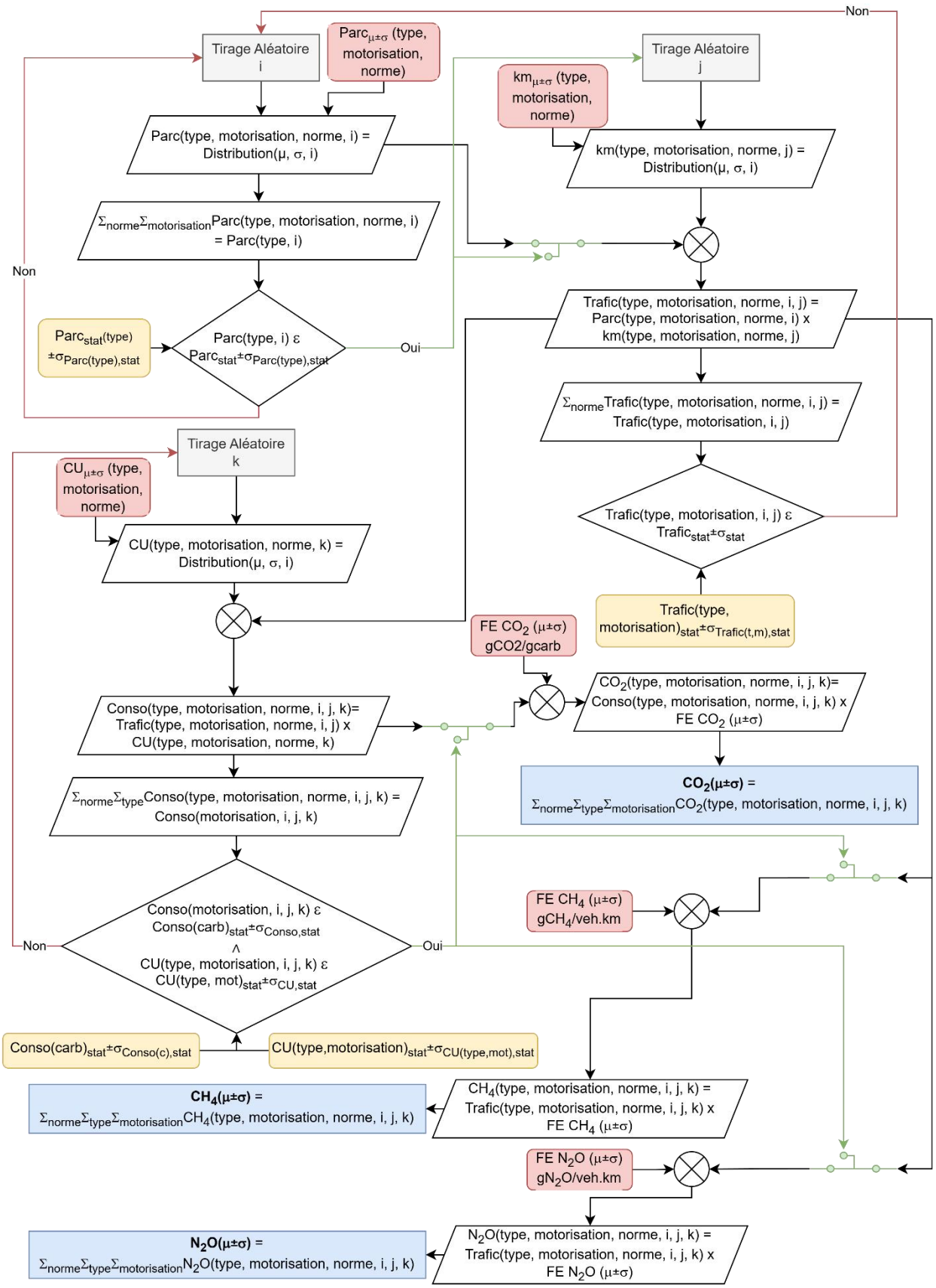


Figure 85 : Schéma de la méthodologie de calcul des incertitudes des émissions GES du transport routier



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	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	123 994	133 972	142 359	142 909	134 434	135 625	133 972	133 586	133 076	134 569	134 978	134 892	132 353	131 555	110 558	124 677	128 985	123 760	122 356
Différence	kt CO2e	+770	+654	+620	+587	+495	+512	+537	+526	+461	+421	+445	+451	+493	+441	+325	+334	+351	+330	+122 356
	%	+1%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	-

Source Citepa / mars_2026 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 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.
  - Consommations unitaires des véhicules étrangers (données SDES / RSVERO) : intégration de ces données dans les calculs de consommations et trafics (véh.km) par type de véhicules et motorisation, calculs préalables au calcul des émissions atmosphériques.
- Amélioration des calculs de parc statique :
  - Pour les véhicules GPL et GNV (VP, VUL et Bus & Car), révision du calcul du parc en considérant également des données statistiques sur les consommations unitaires.
  - Le calcul de parc (modèle OPALE) : des changements mineurs peuvent avoir lieu, notamment pour la période 2001-2009, qui est une période de liaison entre les deux bases de données de parc.
- Mise-à-jour de la balance énergétique :
  - La balance énergétique se fait sur les ventes de carburants et les consommations unitaires du parc roulant (données SDES / RSVERO), en réajustant les consommations unitaires de la méthodologie EMEP/EEA.

Révision des facteurs d'émissions (FE) N_2O, notamment :

- pour les PL EURO VI GNV ;
- pour les 2R Euro 5.

Les calculs d'émissions sont donc en cohérence avec la méthodologie de 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 :

- Intégration de données de répartition des trains.km à traction électrique et à traction thermique pour les années à partir de 2019, et recalcul de cette répartition à partir de 2006 à l'aide de ces données ou bien de données de consommation unitaire connues ou calculées ;
- Mise à jour de données d'activité entre 1990 et 1998, entre 2001 et 2006, ainsi qu'entre 2011 et 2024 à la suite de modifications dans le bilan de l'énergie ;

Raison et justification

Activité :

- Amélioration de la cohérence temporelle.

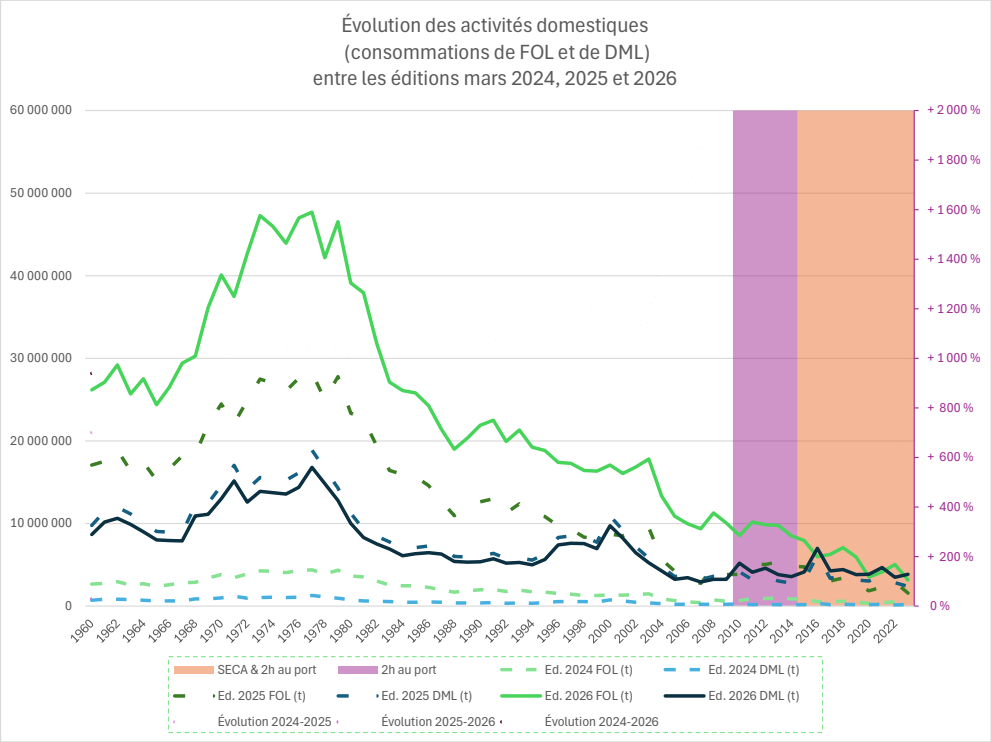
3.2.7.5.4 Transport maritime et voie navigable (1.A.3.d.)

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 86 : Comparaison de la consommation des carburants du trafic domestique entre les hypothèses des éditions de mars 2024, mars 2025 et mars 2026.



Raison et justification

- Mise à jour des activités du maritime : amélioration de l'exactitude, notamment afin de mieux prendre en compte les liaisons continent – Corse.

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.)

Les recalculs portent sur :

- A partir des déclarations de consommation de gaz naturel (NAPFUE 301), application sur toute la série historique (notamment à partir de 2012) du taux de biométhane injecté sur le réseau, différenciant ainsi les émissions de ces deux combustibles.
- Révision des années 2022 et 2023 sur la base des données de prétraitement : suppression d'émissions ajoutées manuellement pour certains polluants non déclarés et intégration d'une installation précédemment omise en raison de l'absence de déclaration GEREP.

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), et de la méthodologie EMEP/EEA, y compris les facteurs d'émission.

Transport ferroviaire :

Pas d'amélioration prévue.

Maritime, fluvial, plaisance :

Maritime :

Actuellement, l'intégralité des ventes de carburant en Nouvelle-Calédonie est considérée comme destinée à du trafic domestique. Or, l'observatoire de l'énergie de la Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Énergie de la Nouvelle-Calédonie (DIMENC) rapporte des consommations destinées à des trajets internationaux non nulles. Envisager l'utilisation des données de la DIMENC concernant le trafic maritime international.

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 87 : Consommation de combustibles dans les différents sous-secteurs (Périmètre France UE)

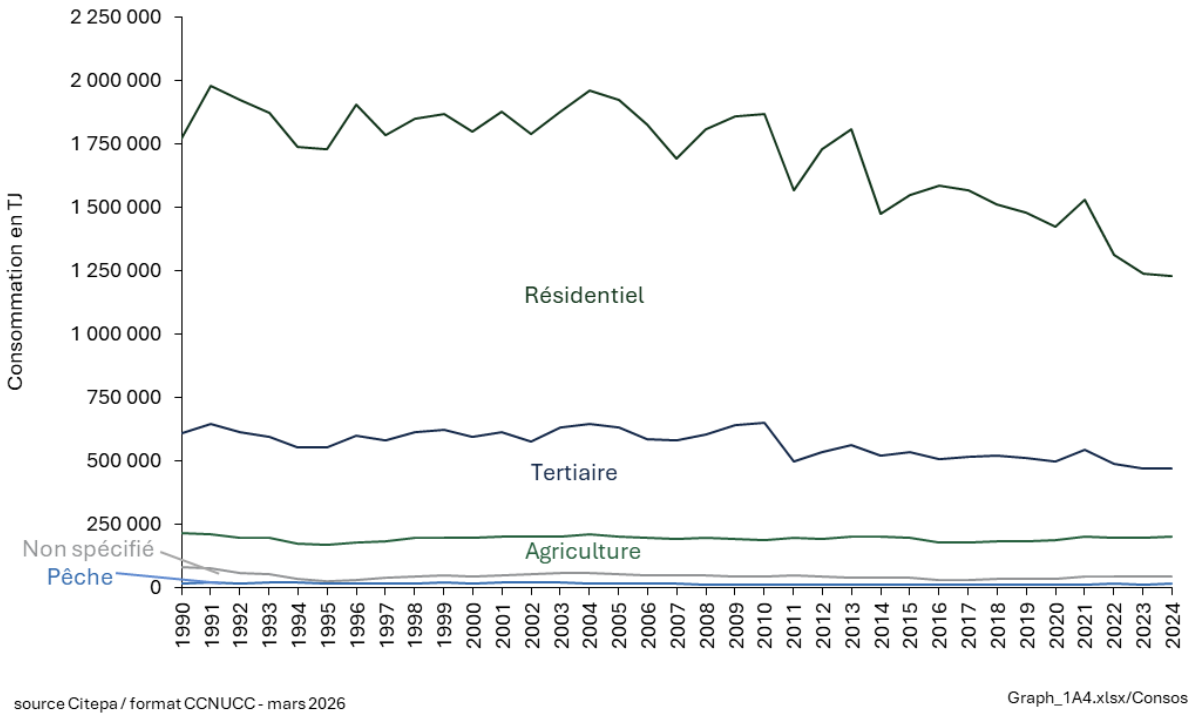
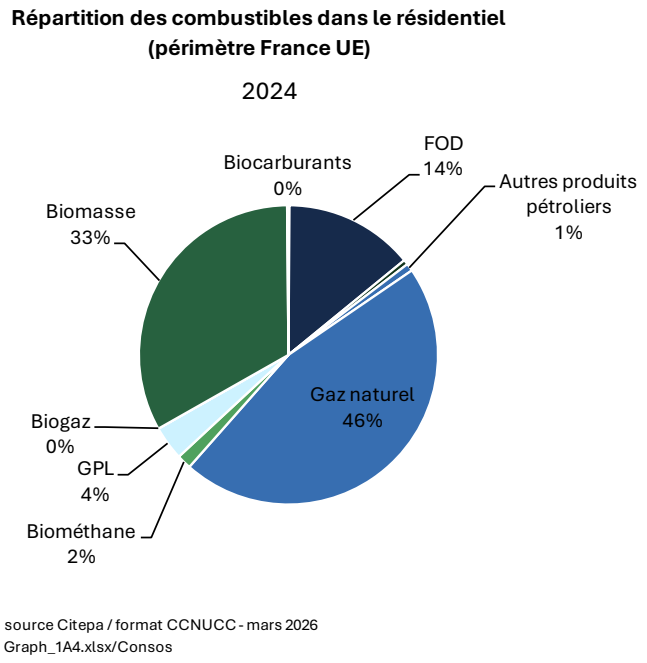
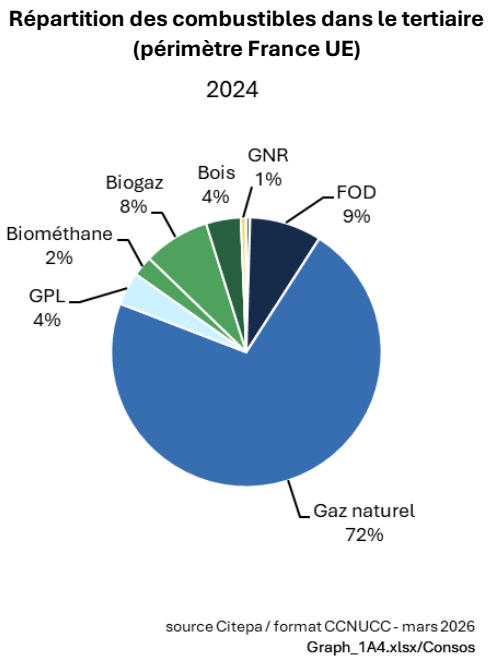
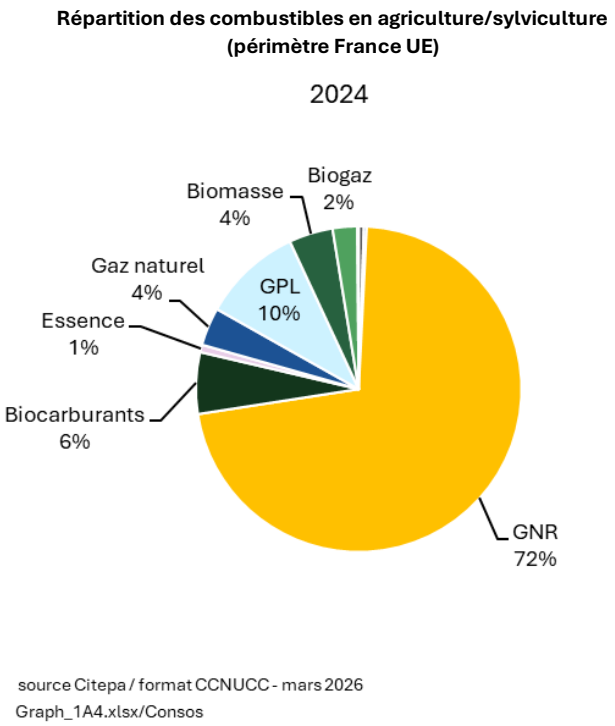
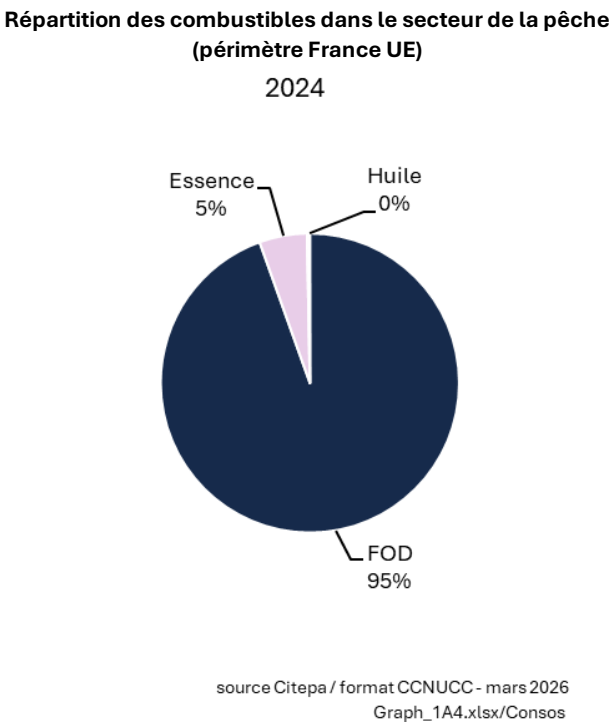


Figure 88 : Répartition des combustibles dans les sous-secteurs en 2024 (Périmètre France UE)









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 2024, 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 82 : Substances et combustibles pour lesquelles le secteur 1A4 est source clé en 2024 (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	6ème	3,0%	8ème	2,7%
1A4c - oil	CO_2	7ème	2,9%	16ème	1,6%
1A4b - oil	CO_2	8ème	2,8%	3ème	5,0%
1A4a - oil	CO_2	26ème	0,7%	4ème	4,1%
1A4b - biomass	CH_4	29ème	0,5%	35ème	0,6%
1A4b - coal	CO_2	-	-	36ème	0,6%
1A4a - coal	CO_2	-	-	32ème	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, entrepôts, 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 de bois est une source d'énergie émettrice de CH_4 (d'autant plus en petites installations).

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 l'Hexagone. 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] [1369][1370]. Des évolutions dans les séries statistiques ont conduit à extrapoler le parc entre les années où des données sont disponibles (1988, 2000, 2005, 2013 et 2023).

Les parcs d'engins forestiers (tracteurs, débusqueuses, débardeuses) sont issus de plusieurs références [72, 73]. 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 à partir de facteurs d'émission en g/t ou g/GJ. 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 l'Hexagone, 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 hexagonale [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.

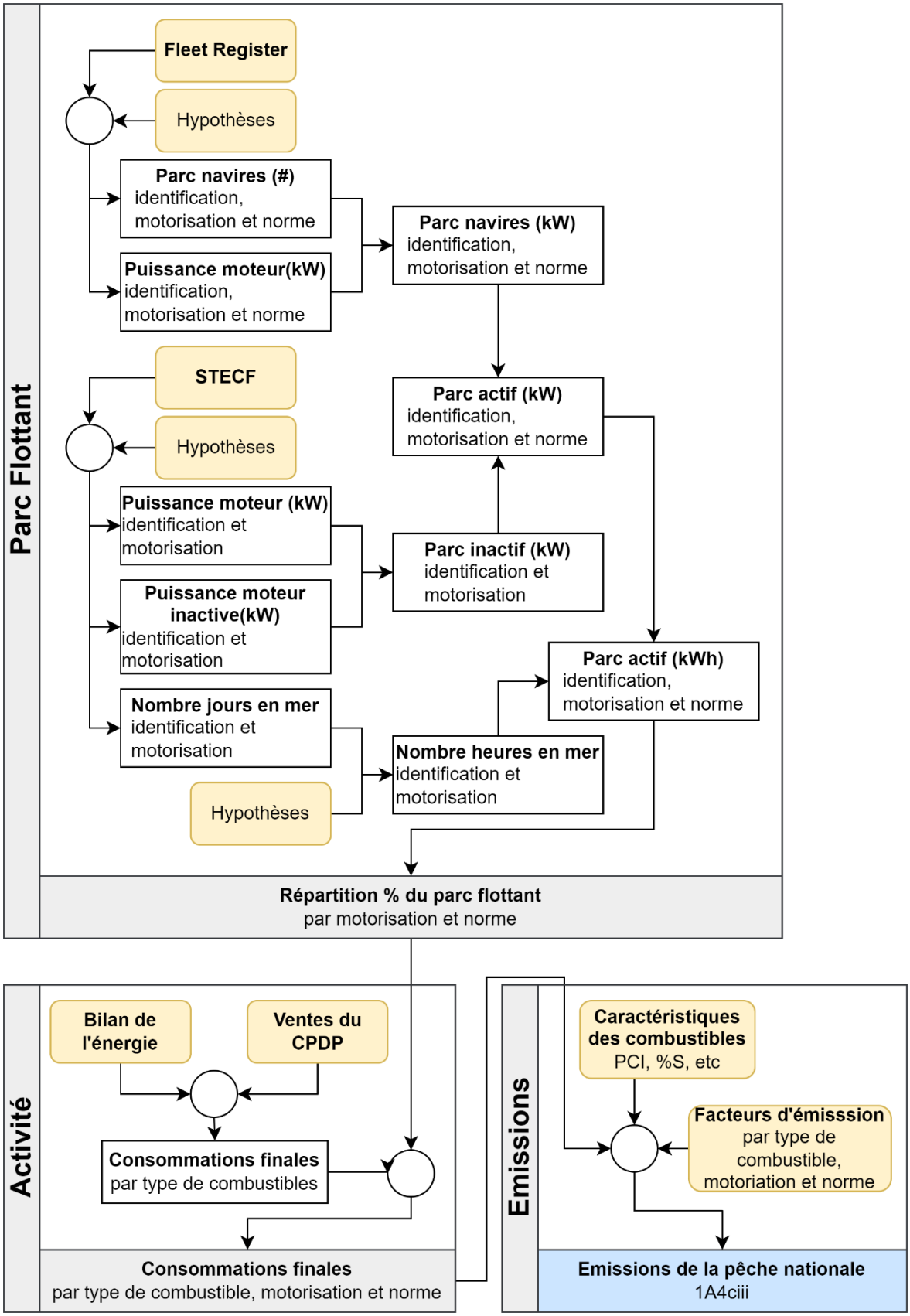
Pour les Régions Ultrapériphériques françaises de l'Union Européenne[30], les consommations totales de combustibles (gazole et essence) sont établies selon le bilan d'énergie réalisé au Citepa [666].

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).

[30] Guadeloupe, Guyane, La Réunion, Martinique, Mayotte et Saint-Martin

Figure 89 : 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] [1365]. Pour les installations de puissance inférieure à 20 MW utilisant de la biomasse solide, les facteurs d'émission du méthane proviennent de [67].

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] [1365].

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 hexagonale 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]. Ces données incluent bien le bois récolté par des particuliers hors du marché économique conventionnel. 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 83 : 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]. Pour la combustion de bois, les installations sont toutes considérées de puissance inférieure à 20MW, et les facteurs d'émission de méthane proviennent de [67].

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 84 : 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	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	98 318	97 155	101 352	107 870	100 978	81 296	82 096	81 341	77 342	74 985	72 857	75 853	63 911	58 495	57 965
Différence	kt CO2e	-104	-147	-423	-458	-752	-1 086	-882	-1 204	-2 003	-2 130	-1 778	-1 477	-2 100	-468	+57 965
	%	-0%	-0%	-0%	-0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-3%	-3%	-2,38%	-2%	-3%	-1%	-

Source Citepa / mars_2026 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

Données d'activité : mise à jour du bilan énergétique national :

- Baisses de la consommation de fioul domestique (NAPFUE 204) sur 2011-2023 (- 20 800 à 50 130 TJ selon les années) (transfert dans d'autres secteurs comme le résidentiel et l'agriculture) ;
- Baisses de la consommation de gaz naturel (NAPFUE 301) sur 1990-2022 (-1 260 à -13 220 TJ selon les années), légère hausse en 2023 (+ 500 TJ), notamment à cause des consommations de l'autoproduction (transfert en industrie 1A2) ;
- Baisses de la consommation de GPL (NAPFUE 303) sur 2011-2012 (entre -1 000 et -1 200 TJ) et hausse à partir de 2013 (+340 à + 3 500 TJ selon les années) ;
- Hausses de la consommation de biogaz (NAPFUE 309) sur 1990-1993 (+300 à +460 TJ selon les années) et sur 2005-2023 (+1420 à +13 700 TJ selon les années), baisses sur 1994-2004 (-750 à -2 200 TJ selon les années).
- Disparition de la consommation de GnR+biodiesel (NAPFUE 205/25B) sur 2011-2017 (entre -3 440 TJ et -15 900 TJ selon les années) et fortes baisses sur 2018-2023 (entre -10 700 et -22 200 TJ selon les années) ;
- Mise à jour de la consommation de biomasse : impacts à la marge à partir de 2011 avec une hausse sur 2011-2019 (entre +1 et 132 TJ selon les années) et une baisse sur 2020-2023 (entre -4 et -208 TJ selon les années).

CH_4 : hausse à partir de 2012 : FE CH_4 du NAPFUE 111 pour les installations de puissance thermique supérieure à 50 MW ajusté à 11 g/GJ (au lieu de 3,2 g/GJ).

N_2O : hausse à partir de 2012 : FE N_2O du NAPFUE 111 pour les installations de puissance thermique supérieure à 50 MW ajusté à 7 g/GJ (au lieu de 4 g/GJ).

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude des données et de la cohérence temporelle.

3.2.8.5.2 Résidentiel (1A4b)

Description des recalculs

Données d'activité : mise à jour du bilan énergétique national :

- Hausses de la consommation de fioul domestique (NAPFUE 204) sur 2011-2023 (entre +16 800 et +40 200 TJ selon les années) ;
- Baisses de la consommation de gaz naturel (NAPFUE 301) sur 2018-2021 (entre -600 et -4 900 TJ selon les années), hausse sur 2022-2023 (entre +2 030 et 3 680 TJ) ;
- Ajustements très à la marge sur le GPL (NAPFUE 303) à partir de 2011 (inférieurs au térajoule) ;
- Léger ajustement à la hausse du pétrole lampant (NAPFUE 206) en 2023 (+ 29 TJ) ;
- Disparition de la consommation de GnR+biodiesel (NAPFUE 205/25B) sur 2011-2017 (entre -1 900 TJ et -4 890 TJ selon les années) et fortes baisses sur 2018-2023 (entre -3 440 et -8 870 TJ selon les années) ;
- Baisses de la consommation de bois bûche (NAPFUE 111L sur 2012-2020 (entre -850 et -9 810 TJ selon les années)) (hors 2013 avec +120 TJ), hausse inter-édition sur 2021-2023 (entre 880 et 6 370 TJ selon les années) ;
- Baisses de la consommation de granulés via prise en comptes des granulés dans d'autres secteurs entre 2004 et 2018 (en RUBRIC IN1 ; entre -8 et -250 TJ selon les années)) ; hausses en lien avec le bilan énergétique sur 2019-2023 (entre +186 et 3 000 TJ selon les années).

CH_4 : Ajustement du nombre de poêles anciens : à la baisse entre 2005 et 2017, à la hausse ensuite, mais impacts modérés comparativement aux changements de consommation du bilan.

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 d'énergie :

- Hexagone : la mise à jour du traitement des données du bilan de l'énergie du SDES (2011-2024) a entraîné :
  - Révision à la hausse de la consommation de GPL sur 2011-2023 (légère hausse, mais fort impact en 2023 : + 1900 TJ), sauf 2021 (baisse marginale) ;
  - Révision à la marge de la consommation de biogaz sur 2013-2023 ;
  - Révision à la marge de la consommation de gaz naturel sur 2018-2023 ;
  - Révision à la marge de la consommation de bois sur 2011-2016 et sur 2021-2023 ;

. De plus, les taux d'incorporation de biométhane dans le gaz naturel ont été marginalement modifiés sur 2022 et 2023 ;

- Régions Ultrapériphériques françaises de l'Union Européenne: aucune révision.

Pour la partie émissions : aucune révision des facteurs d'émission.

- 1A4cii – agriculture/sylviculture – sources mobiles :

Pour la partie consommations d'énergie :

- Hexagone :
  - Révision à la hausse de la consommation de fioul domestique (FOD) en 2011 (+ 2600 TJ) ;
  - Révision à la hausse des consommations de gazole non routier (GNR) sur 2011-2023 (entre + 800 TJ et + 10 289 TJ selon les années) ;
  - Révision à la légère hausse des consommations de bio gazole sur 2011-2023 (entre + 48 TJ et +704 TJ selon les années) ;
  - Révision du PCI de l'huile de tronçonneuse (de 40,2 GJ/t à 42,002 GJ/t) : impact marginal à la hausse sur toute la série temporelle ;
  - Modification marginale des % de biocarburant dans l'essence en 2019 (voir section générale énergie).
  -

- Régions Ultrapériphériques françaises de l'Union Européenne: révision de la consommation de fioul domestique de la Guyane sur 2020-2023 (-200 à 300 tonnes selon les années) et de la Réunion en 2023 (-1 tonne).

Pour la partie émissions : Révision du facteur d'émission CO_2 du bio carburant dans l'essence (28B) en 2019 (voir section générale énergie).

- 1A4ciii – pêche :

Hexagone :

- mise à jour des données de parc de bateau ;
- mise à jour des consommations de FOD entre 2011 et 2023 ;
- mise à jour des consommations d'essence en 2023 ;

  mise à jour de la teneur en biocarburant dans l'essence en 2019, et donc du PCI de la bio-essence pour cette année ;

Outre-mer inclus dans l'UE :

- mise à jour des consommations d'essence pour la Martinique entre 2014 et 2018 ainsi qu'entre 2021 et 2023

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 2024, 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 85 : Substances pour lesquelles le secteur 1A5 est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A5a	CO_2	28ème	0,6%	44ème	0,4%

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 Hexagone sont appliquées aux consommations du bilan de l'énergie [1].

Tableau 86 : Répartition des consommations par phase de l'aviation

A ces consommations sont appliqués les facteurs d'émission moyens de l'aviation civile de la France hexagonale 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 ou par défaut et issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638] (cf. section générale énergie).

Sources mobiles

EMNR : Les émissions de CO_2 sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible ou par défaut et issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638] (cf. section générale énergie).

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	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	4 499	598	1 972	2 644	2 274	2 079	1 384	1 362	1 706	1 702	1 485	2 090	2 118	2 144	2 133
Différence	kt CO2e	+0,049	-0,0009	-0,039	-0,025	-0,013	-0,023	-0,016	-0,019	+199	+201	+160	+145	+138	+27	+2 133
	%	+0,0%	-0,0%	-0,0%	-0,0%	-0,0%	-0,0%	-0,0%	-0,0%	+13%	+13%	+12%	+7%	+7%	+1%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /1.A.5

Évolution des consommations en lien avec les ajustements du bilan énergétique national :

- Hausses de la consommation de gaz naturel sur 2018-2022 (entre +2 510 et + 3 580 TJ selon les années), légère baisse sur 2023 (-152 TJ) ;
- Hausse de la consommation de fioul domestique sur 2023 (+756 TJ) et d'essence sur 2023 (+50 TJ).

Pour le CO_2 : ajustement marginal du pourcentage bio pour l'essence et bio-essence (NAPFUE 208/28B) : impact à partir de 1992.

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 87 : Substances pour lesquelles le secteur 1B est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1B1a	CH_4	-	-	12ème	1,7%
1B2a	CO_2	41ème	0,3%	48ème	0,4%
1B2b	CO_2	-	-	60ème	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.

Le charbon importé est supposé avoir totalement dégazé avant d'arriver sur le territoire. Par conséquent, des émissions de CH_4 supplémentaires ne sont pas prises en compte.

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 hexagonale, 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 de la méthodologie d'évaluation des rejets est actuellement en cours au sein du BRGM, et des données actualisées devraient être disponibles l'année prochaine. Toutefois, à ce stade et en l'absence des données mises à jour par le BRGM pour les années 2022, 2023 et 2024, 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. Les émissions de CH_4 liées à l'utilisation de combustibles, répertoriées en 1A1c, sont ensuite retranchées des émissions totales déclarées par les sites afin d'estimer les émissions à allouer au procédé (1B1b). 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 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	2024
Ancien	kt CO2e	5 387	5 519	2 270	436	59	36	18	22	15	17	18	19	20	13	22	10	11	12	0
Nouveau	kt CO2e	5 387	5 519	2 270	436	59	36	18	22	15	17	18	19	20	13	22	10	12	13	18
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+0.19	+0.38	+0.56	+0.56	+0.56	+18
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	+1%	+1.71%	+6%	+5%	+5%	-

Source Citepa / mars_2026 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 à 2023 car ajustement des données communiquées par le BRGM sur le méthane rejeté après la fin de l'exploitation des mines (hausse).

3.3.1.6 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)

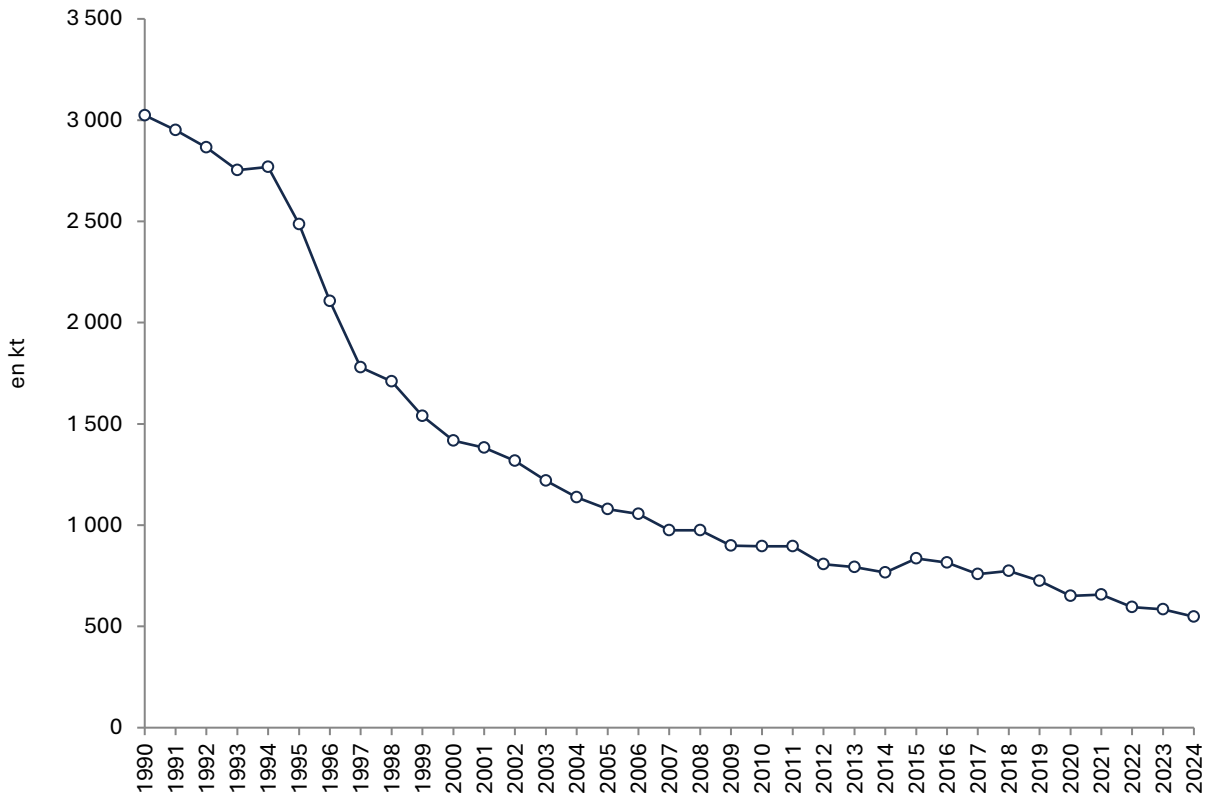
L'activité englobe l'exploration, la production et le transfert du pétrole brut vers les lieux de traitement ainsi que les activités de procédés dans les raffineries françaises, le stockage et la distribution des produits raffinés en France.

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.

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.

L'extraction de pétrole brut 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 90 : Extraction de pétrole (périmètre France UE)



source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 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.

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 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 de la période d'étude.

Le site de La Mède a arrêté le traitement du pétrole brut à la fin de l'année 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 deux années, dans l'attente d'une reprise de site. Faute de repreneurs, l'exploitant a confirmé la fermeture de la raffinerie mais s'engage à continuer de développer les activités pétrochimiques sur le site,
- 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.

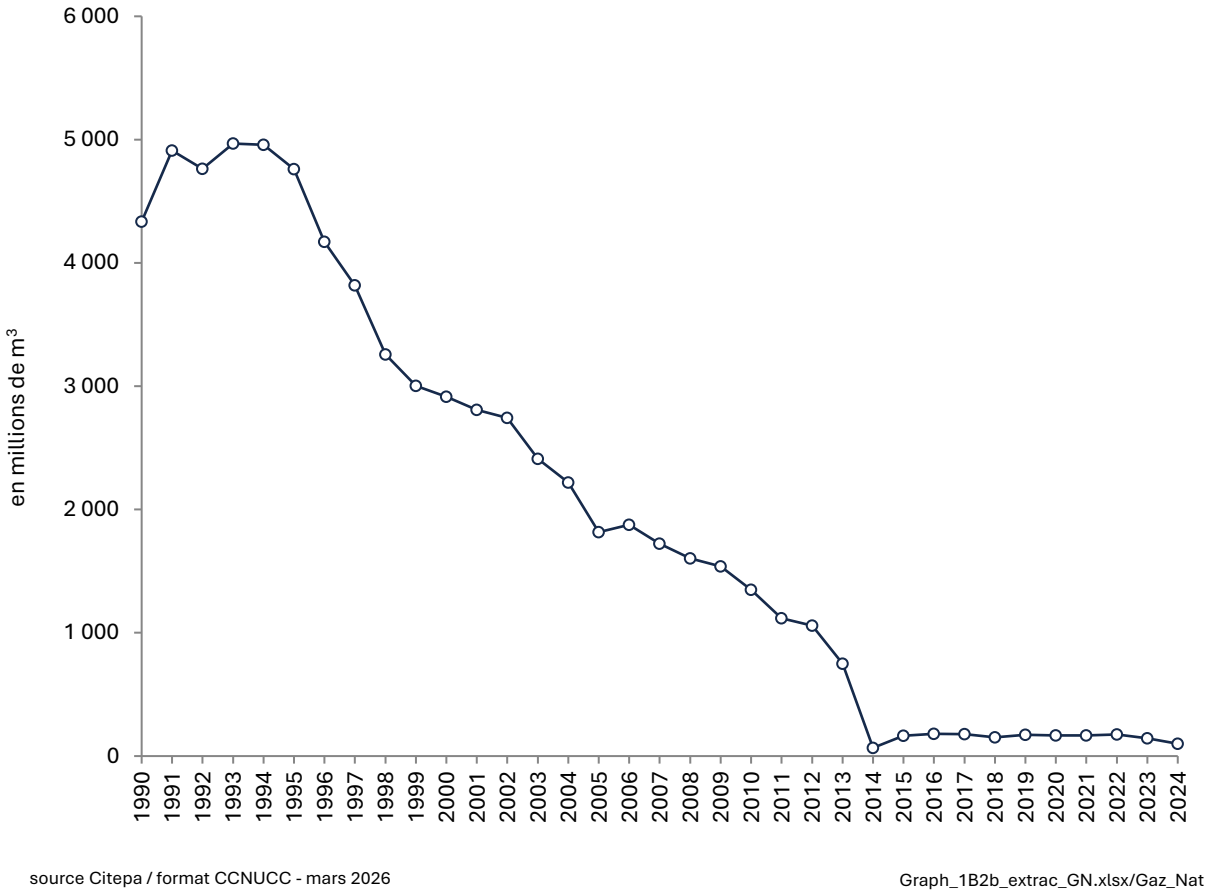
Les procédés considérés sont :

- 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 91 : Extraction de gaz naturel (périmètre France UE)



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 2024 par rapport à 1990 et constituent donc une catégorie clé en termes d'évolution hors UTCATF (60ème 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 2024.

Les principales sources d'émissions fugitives couvertes proviennent :

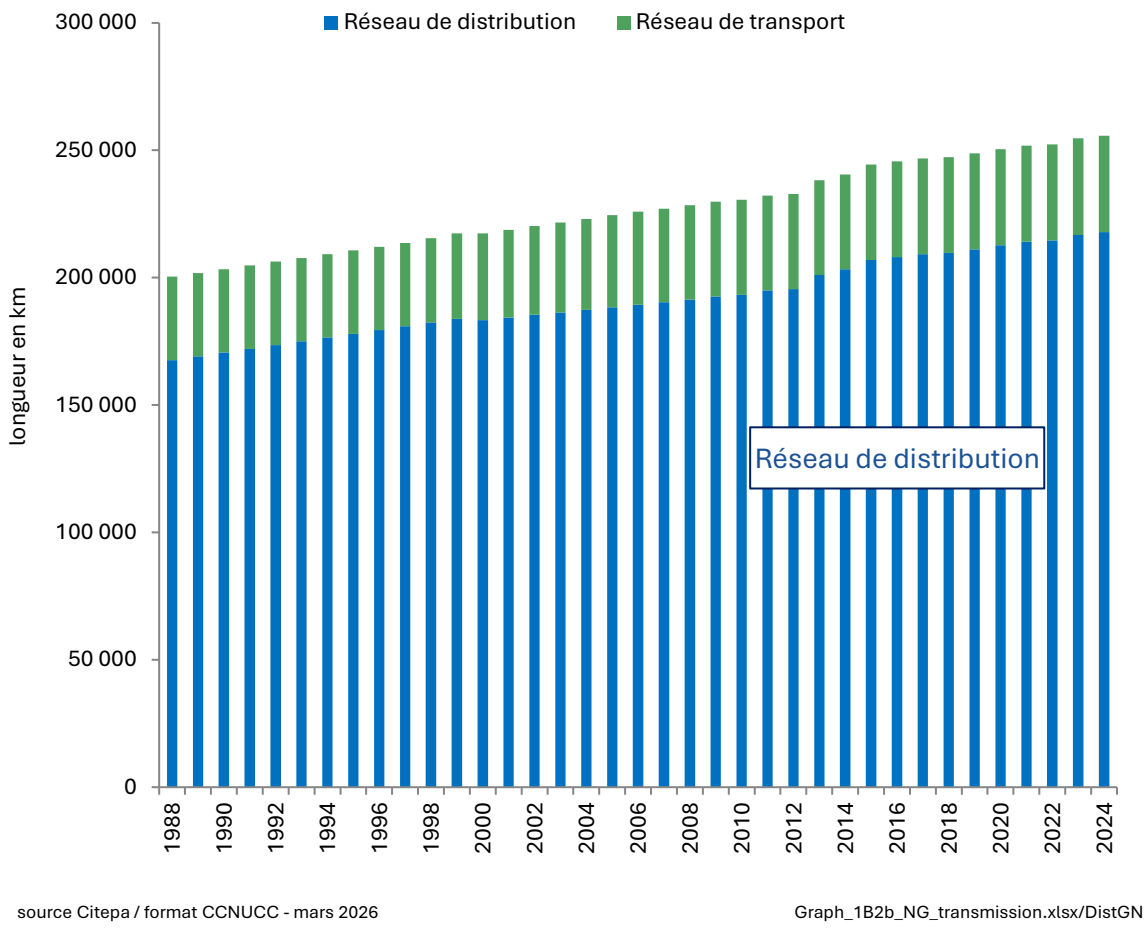
- du réseau de distribution,
- du réseau de transport,
- des stations de compressions,

- 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 92 : Longueur de réseau du gaz naturel en France (périmètre France UE)



Les émissions du secteur 1B2b sont spécifiques de la France hexagonale (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	2024
Consommation de gaz naturel (PJ)	1 034	1 212	1 500	1 712	1 744	1 482	1 463	1 184
Longueur du réseau de distribution (km)	170 615	177 987	183 383	188 403	193 250	206 997	212 785	217 875

Longueur du réseau de transport (km)	32 712	32 712	33 979	36 090	37 301	37 456	37 656	37 890

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 (RUBRIC 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 (RUBRIC PIP) ;
- Les émissions fugitives dues au réseau de transport de pétrole brut par camions et wagons-citernes (RUBRIC CIT) ;
- Les émissions fugitives liées au stockage de brut dans les terminaux pétroliers (RUBRIC 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.

Jusqu'à l'année 2020, la quantité de pétrole brut importé transitant par les terminaux pétroliers était fournie annuellement par le CPDP. A partir de 2021, ces informations n'étant plus publiées par le CPDP, la quantité de pétrole brut importé se base sur les données des activités portuaires publiées par le SDES [1373].La quantité de pétrole brut transporté ou stocké dans les terminaux est exprimée en Mg.

Les émissions liées au torchage et à la ventilation (« venting ») lors de l'extraction de pétrole sur le site de production sont incluses dans la section « 1B2c». Cependant, les émissions de torchage et de ventilation (« venting ») lors des activités d'exploration sont incluses dans cette section.

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 des lignes directrices du GIEC 2006 [627], identiques à ceux du Raffinement 2019 du GIEC [1374],
- de la quantité de pétrole brut transporté par pipeline en France (PIP) et de la production nationale de pétrole brut transporté 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). En revanche, pour les émissions fugitives (FUG), les facteurs d'émissions de CH_4 proposés présentent une variabilité trop importante. En conséquence, le ratio CO_2/CH_4 est 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 88 : 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 m³)

Facteur d'émission	CO_2	CH_4	Ratio CH_4/CO_2
Facteur d'émission extraction – VEN (Gg/1000 m³)	9,5E-05	7,2E-04	7,58E+00
Facteur d'émission extraction – FUG (Gg/1000 m³)	2,6E-04	1,97E-03	

= valeur obtenue à partir d'une référence, = valeur calculée

Les facteurs d'émission étant indiqués en Gg / 1000 m³ dans les lignes directrices du GIEC 2006, ils peuvent être convertis en kg/Mg à partir de la masse volumique (0,86 Mg/m³).

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][1374] :

Tableau 89 : 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 m³)	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 selon les substances.

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, techniques d'abattement des émissions diffuses, 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 pour d'autres années ou, en dernier recours, la valeur nationale par défaut (cf. section générale énergie) est appliquée.

Pour les autres procédés (SNAP 040105), 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 d'émission 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 des années disponibles ou parfois des autres sites semblables [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 des années disponibles ou parfois des autres sites semblables [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.

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 : Natran (ex-GRTgaz, filiale de ENGIE, représentant 86-87% du kilométrage sur la période étudiée et Terega (ex-TIGF).

Natran (ex-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 (ex-TIGF) [629] 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 Natran (ex-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.

Il est à noter qu'en 2024, la méthodologie de GrDF a évolué avec : l'intégration des micro-fuites de type II, jusqu'alors non comptabilisées ; la prise en compte des émissions de méthane du centre de formation ; une revue approfondie de certains facteurs d'émission, corrigés à la suite de mesures réelles réalisées sur les coffrets et lors de certains incidents ; ainsi que l'utilisation de données réelles pour certains types de dommages aux ouvrages.

Les émissions totales sont calculées en sommant les trois types d'émissions comme décrit dans le schéma ci-dessous :

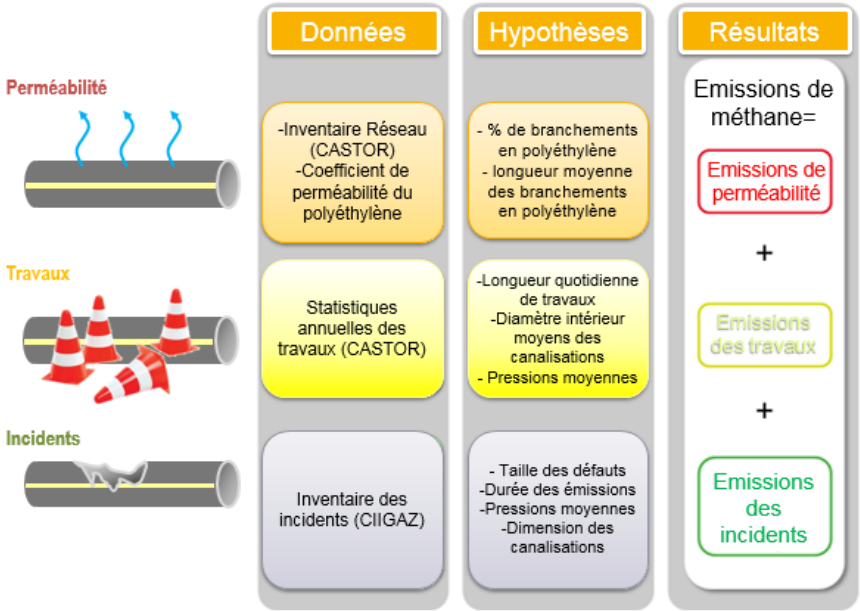


Figure 93 : Méthode GRDF pour déterminer les émissions de méthane du réseau de distribution de gaz naturel en France [783]

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 90 : Evolution de la composition massique moyenne du gaz naturel, entre 1990 et 2023

	Composition moyenne du gaz naturel (en masse)				
	1990	**2000**	**2010**	**2020**	**2024**
CH_4	83,8%	85,6%	85,1%	88,5%	89,1%
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	0,009

Émissions du réseau de transport (1B2bv)

Les émissions de CH_4 du réseau de transport sont transmises annuellement par les deux opérateurs nationaux Natran (ex-GRTgaz) et Terega (ex-TIGF).Natran (ex-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 Natran (ex-GRTgaz) [1075] et Terega [629], et des déclarations annuelles pour GRDF et d'autres exploitants [19]. Il est à noter qu'à partir de 2024, Terega a mis en œuvre un changement de méthodologie de comptabilisation, les fuites de garnitures des compresseurs du stockage étant désormais mesurées à l'aide d'un débitmètre [1379].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 91 : 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/1000m^3	kg/Mg	kt/1000m^3	g/Mg	kt/1000m^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 CO2 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 hexagonales, 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, Natran (ex-GRTgaz) et Terega (ex-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 en charge de l'Environnement (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	2024
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	2 426	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	2 427	2 210
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.082	-0.11	+0.016	-0.063	+1.4	+2 210
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-0%	-0.00%	+0%	-0%	+0%	-

Source Citepa / mars_2026 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

Recalculs relatifs au transport de pétrole brut (1.B.2.a.iii) dû à la mise à jour des données liées aux terminaux pétroliers, en particulier les données d'activités portuaires pour 2021, 2022 et 2023 (changement de source en raison de l'indisponibilité des données CPDP).

Recalculs relatifs au raffinage du pétrole (1.B.2.a.iv) : mise à jour des consommations de coke de pétrole de 2021 à 2023 sur la base des déclarations ETS (plutôt que données recalculées), qui modifie les émissions de CH_4 et N_2O à la marge (environ -0.07/-0.1 kt CO_2e).

Recalculs relatifs au torchage dans l'extraction de gaz et de pétrole dû à l'actualisation des données de prétraitement de 2022 et 2023 : suppression des émissions ajoutées manuellement pour certains polluants non déclarés.

3.3.2.6 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
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 necessary, revised CH4 emission estimates for the corresponding years.**	2022 Review draft report / E.7	Not yet implemented. We 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. We have contacted operators but no additional information explaining the inter-annual changes have been received. We will continue to investigate this issue in 2024.

3.3.2.7 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 92 : Émissions de gaz à effet de serre des Procédés industriels (périmètre UE)

PROCEDES INDUSTRIELS (périmètre France UE)				Secteurs-d.xlsx
	1990		2024	
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	42 631	11%	23 457	8,7%
CH_4	285	0,3%	46	0,1%
N_2O	20 910	39%	341	1,2%
HFC	4 226	100%	8 527	100%
PFC	4 685	100%	234	100%
SF_6	2 221	100%	280	100%
NF_3	15	100%	11	100%
CO_2e	74 973	14%	32 896	9,0%

source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

En 2024, 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 8,7 % des émissions nationales ;
- le quatrième contributeur aux émissions de N_2O avec 1,2 %, très loin derrière l'agriculture (premier contributeur), du fait de la baisse très importante des émissions de N_2O depuis 1990, où il représentait 39% des émissions nationales ;
- 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

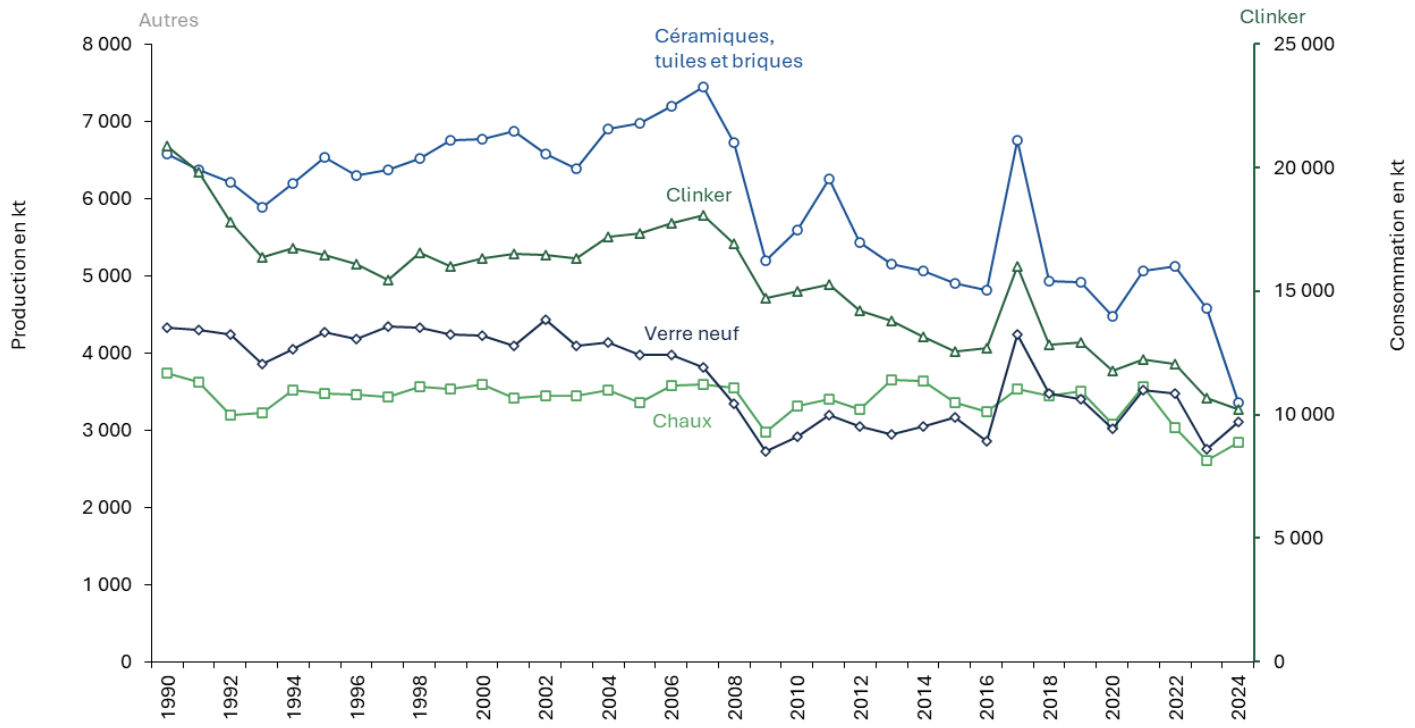
Cette catégorie n'est émettrice que d'émissions de CO_2. Le phénomène de décarbonatation est à l'origine de la majorité des émissions du fait de plusieurs secteurs d'activités :

- 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 94 : Productions des principaux produits minéraux en France (périmètre UE) depuis 1990



source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

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 -8,8 % pour le sous-secteur des céramiques/tuiles et briques à -10.7 % 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 (+15,2 %) 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) avant de ralentir en 2024 (-4 ,2% par rapport à 2023). La production de céramique/tuiles et briques diminue fortement depuis 2023, avec des baisses à hauteur de 10,8% entre 2022 et 2023 et 26,8% entre 2023 et 2024.

Les substances pour lesquelles les sous-secteurs appartenant au secteur 2A sont sources clés en 2024 sont les suivantes :

Tableau 93 : Substances pour lesquelles le secteur 2A est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
2A1 Cement Production	CO_2	16ème	1,4 %	25ème	1,0 %
2A2 Lime Production	CO_2	33ème	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 2024, la production continue de baisser mais à un rythme plus modéré (-4,2% par rapport à 2023).

En 2024, 22 cimenteries classiques assurent la majeure partie de la production et 3 sites fabriquent des ciments aluminates (environ 4,98 % 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[31]), 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 :

$$CaCO_3 \text{ à } CaO + CO_2$$

$$CaCO_3, MgCO_3 \text{ à } CaO, MgO + 2\ CO_2$$

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.

[31] 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)

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.

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. Une très forte baisse s'est amorcée depuis 2021 (-13,7% entre 2021 et 2022 et -13,3% entre 2022 et 2023). En 2024, la production est repartie à la hausse avec une augmentation de 8,9% par rapport à 2023.

En 2024, 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.

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 4 sites en activité.
- la production de fibre minérale (laine de roche) (SNAP 030318), uniquement 4 sites en activité.

Les sites de production de verre ne sont présents qu'en France hexagonale.
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 industriels sont utilisées pour déterminer les niveaux de production [19].
- **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]. En 2024, ces données n'ont pas été communiquées par la Fédération des Industries du Verre. Les déclarations individuelles des industriels ont donc été utilisées afin de déterminer les niveaux de production. [19]
- **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]. En 2023 et 2024,

ces données n'ont pas été communiquées par la Fédération des Industries du Verre. Les déclarations individuelles des industriels ont donc été utilisées afin de déterminer les niveaux de production. [19]

- **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]. En 2024, ces données n'ont pas été communiquées par la Fédération des Industries du Verre. La méthode utilisée en 2014 et 2015 est donc appliquée.
- **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.

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, la production de verre « neuf », provient d'une cinquantaine de sites situés en France métropolitaine (31 sites de production de verre creux, 4 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 2024, 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)

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, avec une baisse à hauteur de 30%.. 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 entre 2012 et 2016, la production atteignant 4 805 tonnes contre les environ 6000 tonnes observées en moyenne entre 2008 et 2011. . 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 presque 9 % par rapport à 2019.. En 2021, la production augmente de 14 %, pour atteindre le plus haut niveau observé depuis 2014. Cette hausse se poursuit jusqu'en 2022 avant de repartir à la baisse en 2023 et 2024. Une très forte baisse est notamment notée entre 2023 et 2024, à hauteur de 26,8%, la production atteignant son plus bas niveau depuis 1990 avec 3 350 tonnes.

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 hexagonale 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 94 : 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***	***2024***
475	531	578	590	548	480	552	515	505	509

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 hexagonale.

Les données de production des autres types de clinker pour certaines années sont présentées dans le tableau suivant (uniquement en France métropolitaine).

Tableau 95 : 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***	***2024***
12 066	12 138	11 779	12 255	12 388	11 291	11 690	11 529	10 505	10 803

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 96 : 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 97 : 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	2024
Part des émissions induites par la calcination des carbonates (%)	98,3%	98,0%	98,0%	98,3%	97,7%	97,8%	97,9%	98,1%
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%	1,7%	2,1%	1,9%

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 98 : 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 99 : 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***	***2015***
3,9	4,9	5,6	6,4	5,7	5,4	5,4	5,3	5,3	5,4
2016	***2017***	***2018***	***2019***	***2020***	***2021***	***2022***	***2023***	***2024***	
5,6	5,2	45,8	6,0	6,5	5,5	6,7	7,5	7,0	

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 100 : Niveau de méthodologie déployé dans l'estimation des émissions de CO_2 pour la production de chaux aérienne et magnésienne

1990 Niveau GIEC Tier 1	2004 Niveau GIEC Tier 2 & 3	2008 Niveau GIEC Tier 2 & 3
P1 = Emissions CO_2 chaux = production nationale de chaux aérienne x 785 kg/t + production nationale de chaux magnésienne x 913 kg/t (valeurs stœchiométriques [614])	P1 = Emissions CO_2 chaux = Emissions CO_2 des déclarations annuelles (peu de sites) [19] + (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 = Emissions CO_2 des déclarations annuelles [19] + (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% P3 = émissions CO_2 chaux totales = P1 + P2	P2 = Emissions poussières de by-pass = P1 x 0,2% P3 = émissions CO_2 chaux totales = P1 + P2	P2 = Emissions poussières de by-pass = P1 x 0,2% (uniquement de 2003 à 2012) 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 49 : 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)	780	779	778	752	728	719	705	714	718	697	693

	2021	2022	2023	2024
FE CO_2 (kg/t chaux aérienne et magnésienne)	704	694	695	702

Tableau 101 : 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***	***2015***
89,2	87,9	87,2	86,6	86,4	86,0	86,5	87,1	86,1	86,6
2016	***2017***	***2018***	***2019***	***2020***	***2021***	***2022***	***2023***	***2024***	
86,0	83,5	85,4	85,2	86,3	86,4	84,8	82,6	83,1	

A3. Informations générales

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 102 : 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
2024	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 103 : 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***	***2015***
7,2	7,5	7,7	7,5	8,3	9,1	8,5	8,0	9,1	8,5
2016	***2017***	***2018***	***2019***	***2019***	***2021***	***2022***	***2023***	***2024***	
9,0	11,8	9,4	9,6	7,7,	8,5	9,0	10,7	10,7	

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 [240][457].

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 :

$$CaCO_3 \quad \text{à} \quad CaO + CO_2$$

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	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	14 938	12 429	12 336	12 617	11 019	11 335	10 595	10 620	10 233	9 686	9 594	9 501	9 936	10 015	9 053	9 741	9 268	8 033	7 817
Différence	kt CO2e	-0,90	-0,90	-0,90	-0,90	-0,62	-0,58	-0,98	-1,1	-0,94	-0,96	-0,69	-0,12	-0,40	-1,1	-0,67	+0,40	+6,3	-364	+7 817
	%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0,01%	+0%	+0%	-4%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.A

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

Correction des émissions de CO2 d'un site de production pour l'année 2023 impliquant un léger recalcul de l'ordre de 1% sur cette même année.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude des données

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

Correction de la formule de calcul des émissions de décarbonatation d'un site en 2023, pour un site qui ne déclare pas ses émissions par type de procédé, et pour lequel on applique le ratio des émissions de décarbonatation sur ses émissions totales de CO_2, connu en 2020, aux émissions totales du site en 2023.

Raison et justification Amélioration de l'exactitude des données

4.2.5.4 Tuiles et briques, Céramique décarbonatation (2A4a)

Description du recalcul

Recalculs ayant un impact minime (de 1 à 7 kt de CO_2) pour la production de céramique en lien avec la mise à jour du niveau de production entre 2021 et 2023.

Raison et justification

N/A.

4.2.5.5 Autres utilisations de carbonates de sodium (2A4-b)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	170	181	89	146	142	138	156	156	174	165	171	169	220	235	228	218	248	205	0
Nouveau	kt CO2e	169	180	88	145	142	138	155	155	173	164	170	169	219	234	228	218	248	204	232
Différence	kt CO2e	-0,90	-0,90	-0,90	-0,90	-0,62	-0,58	-0,98	-1,1	-0,94	-0,96	-0,69	-0,12	-0,40	-0,88	-0,52	-0,64	-0,52	-0,78	+232
	%	-1%	-0%	-1%	-1%	-0%	-0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0,23%	-0%	-0%	-0%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.A.4.b

Description du recalcul

Amélioration de l'exactitude et de la complétude des données.

4.2.6 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	IPPU 2.A.2 Lime production – CO2	Include information in its NIR on the production of lime by type of lime (hydraulic lime, quicklime and lime produced in sugar mills), the sources of the AD, including any assumptions	2022 Review ARR / I.1	No longer an issue, as far as EFs in 2016 -2017 are no longer outliers compared to EFs from other years, and no EFs change occured between the 2023

	(I.5, 2021), (I.22, 2019) Transparency	regarding data provided by the cement producers federation, and the reasons for any change in the CO2 EF between 2016 and 2017. Addressing. France reported in its NIR (pp.306–309) information on the share of lime production for the three types of lime produced in France (hydraulic lime, quicklime and lime produced in sugar mills) and on the number of plants operating from 1994 onward. It also included information on the number of plants reporting individual data for estimating emissions and the number of plants for which an average CO2 EF was applied to estimate emissions. The Party also reported the average EF used for CO2 emissions from quicklime (air and magnesium lime) for all years in the period 1990–2020, as well as information on AD sources and how data were collected for each type of lime in different periods, either from annual plant reporting (declaration) or directly from plants, including all assumptions used to estimate emissions from lime production by type of lime. During the review, the Party indicated that the reason for the change in the CO2 EF for quick lime for 2016 and 2017 is the increase in production in one plant during 2015–2017. The ERT considers that the recommendation has not been yet fully addressed, as information on the change in the CO2 EF between 2016 and 2017 was not included in the NIR.		inventory and the current 2024 inventory for 2A2.

À la suite de la revue UE de 2025, 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	FR-2A2-2025-0001 2A2 Lime Production, CO2, 2023	For 2A2 Lime Production for CO2 for 2023 the TERT noted that the implied emission factor increased by 16.0% compared to 2022. The 2023 value is the highest value in the whole time series. In response to a question raised during the review, France explained that this is due to a mistake in the estimate of emissions for 2023. Emissions from non ETS installations were over-estimated. France provided a revised estimate for year 2023 and stated that it will be included in the next submission. The TERT agreed with the revised estimate provided by France. The TERT recommends that France include the revised estimate in its next submission.	ESR review report 2025	France corrected the estimate for the non ETS installations by multiplying the correct dolomitic lime production AD with the emission factor derived from the reporting of the EU ETS installations. This methodology is applied by France for all recent years.

4.2.7 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.

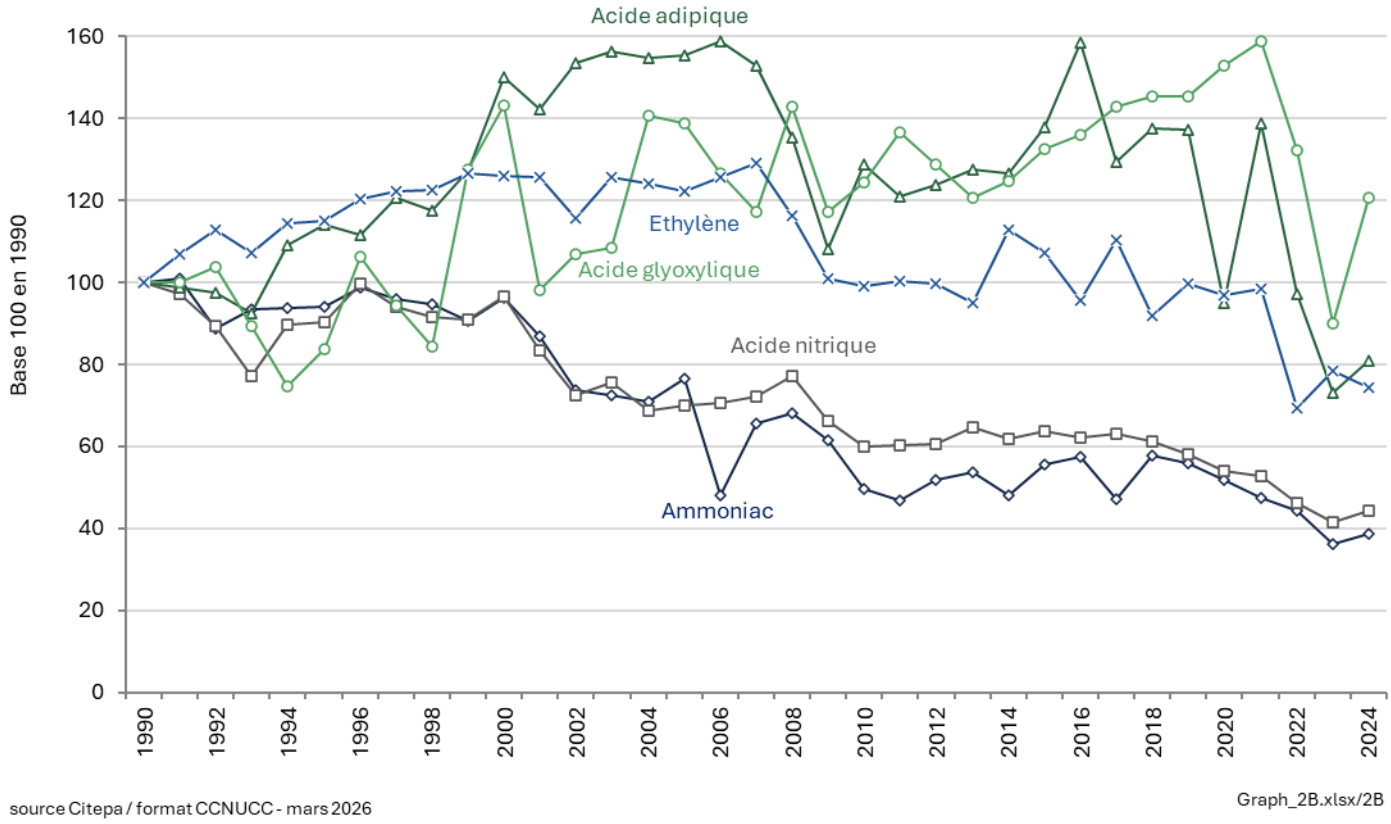
4.3 Chimie (CRT 2B)

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 95 : Principales productions de l'industrie chimique



Le tableau suivant présente les sous-secteurs du secteur 2B étant des catégories clés.

Tableau 104 : 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	44ème	0,3%	42ème	0,4%
2B2	N_2O	-	-	15ème	1,6%
2B3	N_2O	-	-	5ème	4,1%
2B4	N_2O	-	-	29ème	0,8%
2B8	CO_2	24ème	0,7%	-	-
2B9	HFC	-	-	19ème	1,4%
2B9	PFC	-	-	49ème	0,4%
2B10	CO_2	30ème	0,5%	38ème	0,5%

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 61 % de 1990 à 2024. Cette baisse peut s'expliquer par les événements suivants :

- 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).
- 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.
- 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. De plus, un des sites a réalisé un arrêt pour maintenance et subi un incident impactant fortement la production.
- Enfin, en 2024, une légère augmentation de la production est observée (+7%) due à la reprise de l'activité sur le site ayant réalisé son arrêt pour maintenance, l'autre site ayant définitivement cesser son activité de production d'ammoniac.

Les émissions de CO_2 ont été réduites de 62,5 % de 1990 à 2024.

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 55,6 % entre 1990 et 2024. Cette baisse peut s'expliquer par les événements suivants :

- 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.
- 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.
- En 2024, un treizième site est définitivement fermé cependant la production des autres sites augmente et compense cet arrêt. On observe une légère augmentation de la production globale de 7 % entre 2023 et 2024. La production reste inférieure à la production de l'année 2022.

Les émissions de N_2O ont été réduites de 97,2 % de 1990 à 2024. 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, un seul site réalise la production d'acide adipique, les données sont donc confidentielles.

La production a évolué entre 1990 et 2000 en augmentant de 50 %, celle-ci est resté stable durant les années 2000 à 2007 avant de diminuer fortement pour retrouver un niveau quasi-équivalent à 1990 en 2009.

La production a alors remonté lentement jusqu'à atteindre en 2016 un niveau de production semblable à 2007.

La production a été impacté par la crise sanitaire avec une diminution forte de -30 % entre 2019 et 2020. La production a cependant rebondi en 2021 pour atteindre le même niveau de production qu'en 2019.

Cependant, la production diminue de nouveau fortement en 2022 et reste depuis inférieure à celle de l'année 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 99 % depuis 1990, constituant le niveau le plus bas observé sur la série temporelle, la production a fortement diminué entre 2021 et 2023 (-43 %). La production est remontée de 34 % en 2024 par rapport à 2023 sans atteindre le niveau de production de 2021.

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 :

$CaO + 3C \dashrightarrow CaC_2 + CO$

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 :

$CaC_2 + 2H_2O \dashrightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2 \dashrightarrow 2CO_2$

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 $NH_3 + CO_2 + H_2O$ àNH_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 (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. 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 un produit composé en partie de 36 % éthylène, 13 % propylène, 8 % butylène et 7 % aromatiques. Ces produits sont séparés par distillation.

  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].

  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.

  La France comptait 7 sites possédant des vapocraqueurs en activité en 1990. La production évolue alors selon les évènements suivants :

- La production augmente entre 1990 et 2007 avec une progression de 29% par rapport à 1990 ;
- La production diminue en 2008 puis en 2009 affectée par la crise financière en cours. A la crise financière s'ajoute une explosion sur un des vapocraqueurs de Carling qui ne sera pas reconstruit. Au total, la production diminuera de 21% sur cette période.
- La production évolue très peu entre 2009 et 2016, date de la fermeture définitive du site de Carling.
- La production n'est que peu affectée par la crise sanitaire en 2020, cependant la production diminue fortement (- 30%) en 2022 par rapport à 2021 avec une conjonction de grands arrêts sur plusieurs installations, de grèves et d'incidents importants sur deux sites.
- La production repart à la hausse en 2023 (+13% par rapport à 2022) mais est fortement impactée par la conjonction de grands arrêts et de grèves sociales malgré le redémarrage des installations ayant subi des incidents l'année précédente.
- La production diminue de nouveau (-5% par rapport à 2023) suite à l'arrêt définitif de l'ensemble de la production pétrochimique du site de Notre-Dame-De-Gravenchon au cours de l'année 2024. Cette diminution est cependant compensée par la reprise de la production d'un des sites ayant été fortement affecté en 2022 et 2023.

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 :

$$C_xH_y + O_2 + N_2 \text{ --> } C + CO + H_2 + H_2O + N_2.$$

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. A partir de 2018, les émissions ne dépassent plus le seuil de détection et sont donc considérées comme nulle.

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 de réseau (mélange gaz naturel et biométhane, à partir de 2012). 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 [50]. 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	2024
SEQE-UE Total CO_2eq sites ammoniac et acide nitrique	Emissions totales de CO_2eq 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_2eq)	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*	1720,8*
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	1310,8
SEQE-UE 2B2	Emissions de N_2O issues du procédé acide nitrique déclarées au titre du SEQE-UE (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*	145,9*
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	264,1
Inventaire 2B1	Emissions de CO_2 issues du procédé ammoniac estimées dans l'inventaire (kt)	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	1147,0

Production d'ammoniac et production d'acide nitrique		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
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	163,7
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*	145,9*
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	264,1

* 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 [143]. A ces données sont ajoutées les émissions des installations d'un groupe [733] non inclus dans les statistiques de la fédération.

Ces données ont été utilisées par le Citepa pour déterminer des facteurs d'émissions entre 1990 et 2001 qui ont été comparés aux données disponibles dans les déclarations des rejets des industriels pour validation [19].

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.

4.3.2.3 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 N2O des ateliers de fabrication d'acide nitrique. 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 1965, 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 installations.

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 certaines 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 de ces derniers 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] puis des déclarations annuelles [19] après 2005.

Emissions de CO_2

Combustion dans les fours :

Les émissions de CO_2 sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les facteurs d'émission 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 d'émission 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 dans les 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 2004 [19]. Pour les années antérieures, le facteur d'émission de 2005 a été utilisé.

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 1988 et à partir de l'année 2004 les productions sont issues des déclarations annuelles des rejets [19].

Les productions entre 1988 et 2003 sont estimées en utilisant la variation de production du polystyrène connue via les statistiques de l'UIC [118] et du SPMP [115].***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 **i**nstallations**.**

Emissions de N_2O

Combustion dans les 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 de réseau 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 de gaz de réseau en considérant que l'ensemble du carbone entrant dans le procédé sous forme de gaz de réseau 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.A noter que, à partir de l'année 2012, les consommations de gaz de réseau pouvant être utilisé pour la fabrication d'hydrogène, 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 (cf. section générale énergie) ce qui affecte les émissions de CO_2 associées.

- 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.

A noter que, depuis l'édition 2025, les consommations de gaz de réseau pouvant être utilisée par les torchères de l'industrie chimique, 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) ce qui affecte les émissions de CO2 associées.

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.

- <u>Utilisation de carbonates dans l'industrie chimique</u>

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. Certaines valeurs peuvent également être saisies à partir des données communiquées directement par les exploitants [50].

- <u>Production d'autres produits organiques n'entrant pas dans une catégorie citée</u>

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 [118].

Avant 1998, c'est la valeur des émissions de cette année qui est reportée.

Certaines installations, en particulier celles soumises au système d'échange de quotas d'émissions (SEQE), déclarent des émissions de CO2 procédés associées à leur activité de production chimique. Ces émissions sont compilées par activité et les facteurs d'émission sont calculés à partir de la production pour les années connues.

Emissions de N_2O

Comme pour le CO2, à partir de 2004, les données d'émission de N2O proviennent directement des déclarations annuelles des industriels [19].

Entre 1998 et 2004, les émissions de N2O sont également calculées en considérant le même taux d'évolution que pour les COV (enquête de l'UIC, [118]) et entre 1990 et 1997, la valeur des émissions de 1998 est reportée.
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.

4.3.3 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.

4.3.4 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	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	35 281	33 319	21 646	16 237	9 748	9 043	8 349	8 419	8 999	9 013	8 673	9 522	8 534	8 364	7 720	7 653	6 366	6 318	6 379
Différence	kt CO2e	-316	+343	+344	+38	+193	+368	+175	+190	+159	+77	+45	+64	+56	+37	+33	+90	+50	+52	+6 379
	%	-1%	+1%	+2%	+0%	+2%	+4%	+2%	+2%	+2%	+1%	+1%	+1%	+1%	+0%	+0,43%	+1%	+1%	+1%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.B

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

4.3.4.1 Production d'ammoniac (2B1)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	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	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	1 147
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,010	-0,0024	+1 147
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-0,00%	-0,00%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.1

Description du recalcul

Pas de recalcul significatif.

Raison et justification

Amélioration de la précision des estimations.

4.3.4.2 Production d'acide nitrique (2B2)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	5 663	4 982	5 241	3 648	1 018	572	427	395	508	465	484	385	498	473	385	252	225	196	0
Nouveau	kt CO2e	5 274	5 252	5 511	3 648	1 018	572	427	395	508	465	484	385	498	473	385	274	225	196	146
Différence	kt CO2e	-389	+270	+270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+21	0	0	+146
	%	-7%	+5%	+5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	+8%	0%	0%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.2

Description du recalcul

Les hypothèses concernant les émissions de la période 1990-2004 ont fait l'objet d'une révision afin d'en améliorer l'exactitude. Une erreur de déclaration a été corrigée sur l'année 2021 entrainant une augmentation de 21 kt CO2e pour cette année.

4.3.4.3 Production d'acide adipique (2B3)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	12 682	14 649	2 777	1 337	358	140	91	162	146	81	88	714	75	34	22	40	29	19	0
Nouveau	kt CO2e	12 682	14 649	2 777	1 337	358	140	91	162	146	81	88	714	75	34	22	40	29	19	17
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+17
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.3

Description du recalcul

Pas de recalcul.

4.3.4.4 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	2024
Ancien	kt CO2e	2 384	2 530	1 793	297	209	283	219	132	125	242	111	217	237	150	92	73	84	35	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	24
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+24
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.4

Description du recalcul

Pas de recalcul

4.3.4.5 Production de carbure de calcium (2B5.b)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	158	121	79	23	23	24	26	20	19	20	24	27	27	27	22	28	27	24	0
Nouveau	kt CO2e	158	121	79	23	23	24	26	20	19	20	24	27	27	27	22	28	27	24	24
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+0,0001	0	0	0	0	+24
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	+0%	0%	0%	0%	0%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.5

Description du recalcul

Pas de recalcul significatif.

4.3.4.6 Production de carbonate de sodium (2B7)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	397	381	303	361	341	294	296	283	341	321	316	336	294	279	245	243	242	233	0
Nouveau	kt CO2e	397	381	303	361	341	294	296	283	341	321	316	336	294	279	245	243	242	233	212
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+212
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.7

Description du recalcul

Pas de recalcul.

4.3.4.7 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	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	4 158	4 449	5 105	4 961	3 902	3 900	3 737	3 608	4 083	3 902	3 590	3 875	3 341	3 520	3 406	3 591	2 608	2 850	2 763
Différence	kt CO2e	+86	+87	+89	+54	+52	+76	+35	+42	+29	-12	-19	-43	-51	-42	-34	-50	-39	-43	+2 763
	%	+2%	+2%	+2%	+1%	+1%	+2%	+1%	+1%	+1%	-0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-0,98%	-1%	-1%	-1%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.8

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	331	337	342	355	201	180	134	151	156	200	214	183	180	160	123	173	158	151	0
Nouveau	kt CO2e	417	424	430	410	253	256	169	193	185	188	195	140	129	118	89	123	118	108	128
Différence	kt CO2e	+86	+87	+89	+54	+52	+76	+35	+42	+29	-12	-19	-43	-51	-42	-34	-50	-39	-43	+128
	%	+26%	+26%	+26%	+15%	+26%	+42%	+26%	+28%	+18%	-6%	-9%	-23%	-28%	-26%	-27%	-29%	-25%	-28%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.8.f

Description du recalcul

Un changement méthodologique a été opéré sur la fabrication du noir de carbone (2B8f).

Précédemment une partie du gaz naturel, brûlé dans les sécheurs et réacteurs, était comptabilisée dans ce CRT, et une partie des gaz résiduaires brulés dans les chaudières était considérée dans le CRT 1A2c.

A partir de cette édition d'inventaire, les émissions liées à la combustion du gaz de réseau sont désormais totalement incluses dans le secteur 1A2c, alors que les émissions liées au gaz issus du procédé et à sa combustion dans tout type d'équipements sont désormais considérés en CRT 2B8f, conformément aux lignes directrices du GIEC.

Raison et justification

Amélioration de l'exhaustivité et de la précision des données utilisées.

4.3.4.8 Productions d'halocarbures, NF_3 et SF_6 (2B9)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	5 420	1 028	1 067	1 083	272	209	222	214	247	311	396	404	270	250	245	201	144	89	0
Nouveau	kt CO2e	5 420	1 028	1 067	1 083	272	209	222	214	247	311	396	404	270	250	245	201	146	89	68
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+1,9	0	+68
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	+1%	0%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.9

Description du recalcul

Pas de recalcul.

Raison et justification

Pas de recalcul.

4.3.4.9 Autres (2B10)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	1 745	2 051	2 088	2 280	2 063	1 867	1 693	1 834	1 850	1 850	1 800	1 783	1 913	1 752	1 546	1 681	1 658	1 815	1 971
Différence	kt CO2e	-13	-14	-15	-16	+141	+142	+140	+148	+131	+89	+64	+107	+107	+79	+67	+118	+87	+95	+1 971
	%	-1%	-1%	-1%	-1%	+7%	+8%	+9%	+9%	+8%	+5%	+4%	+6%	+6%	+5%	+4,51%	+8%	+6%	+6%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.B.10

Description du recalcul

a) Plusieurs données et hypothèses relatives à la production de produits chimiques organiques ont été revues avec un impact minime.

b) La méthodologie concernant la détermination des émissions associées à la production d'hydrogène a été modifiée.

Précédemment, une partie des émissions provenant du gaz de réseau utilisé pour la production d'hydrogène était considérée comme provenant d'un usage énergétique et donc rapporté dans le CRT 1A2c, tandis que le reste des émissions était rapporté en CRT 2B10.

Désormais, l'ensemble des émissions provenant du gaz de réseau utilisé dans les réformeurs à vapeur pour la production d'hydrogène est rapporté dans le CRT 2B10, expliquant l'augmentation importante des émissions de CO_2 à partir de 2007.

Raison et justification

a) Amélioration de l'exhaustivité et de la précision des données utilisées.

b) Modification de la méthodologie utilisée pour améliorer la précision et l'exhaustivité des données.

4.3.5 Suivi des recommandations des revues

À la suite de la revue CCNUCC de 2025, 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	IPPU (4.I.1, 2025) 2. General (IPPU) - CO2	The TERT noted that deviations in CO2 emission in 2022 compared to previous years and the time series for emission levels from some IPPU categories (1 Mton decrease (minus 27.5 per cent compared to 2021) for 2.B.8 CO2 and highest TS value (plus 61.2 per cent compared to the average 1990-2021) for 2.D.3 CO2) was reported in CRT, but the reason behind these deviations was not transparently reported in the NID. During the review, the Party provided an explanation for the deviating emission levels in these categories for 2022 compared to previous years. The Party explained that for 2.D.3, the increase in CO2 emissions in 2022 was caused by a larger use of urea, the decrease for CO2-emissions in 2.B.8. was caused because the production of ethylene (and associated emissions) has decreased by 30%. 3 out of the 6 steam crackers have experienced a fall of production in 2022 due to various reasons of which incident, strike and technical maintenance of the installations. The TERT recommends that the Party includes information in observed deviations in time series development, especially emission decreases, for CO2 emissions from categories 2.D.3 and 2.B.8, and any other category for which substantial deviations in TS emissions are observed especially in recent years, in a transparent manner.	2025 Draft BTR review report	To be implemented in the next NIR for 2D3. Implemented for 2B8.

4.3.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration sectorielle n'est prévue.

4.4 Métallurgie (CRT 2C)

En 2024, 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 105 : Substances pour lesquelles les secteurs du 2C sont sources clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
2C1 Iron and Steel Production	CO_2	11ème	2,0 %	17ème	1,5 %
2C3 Aluminium Production	PFC	-	-	24ème	1,0 %

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.

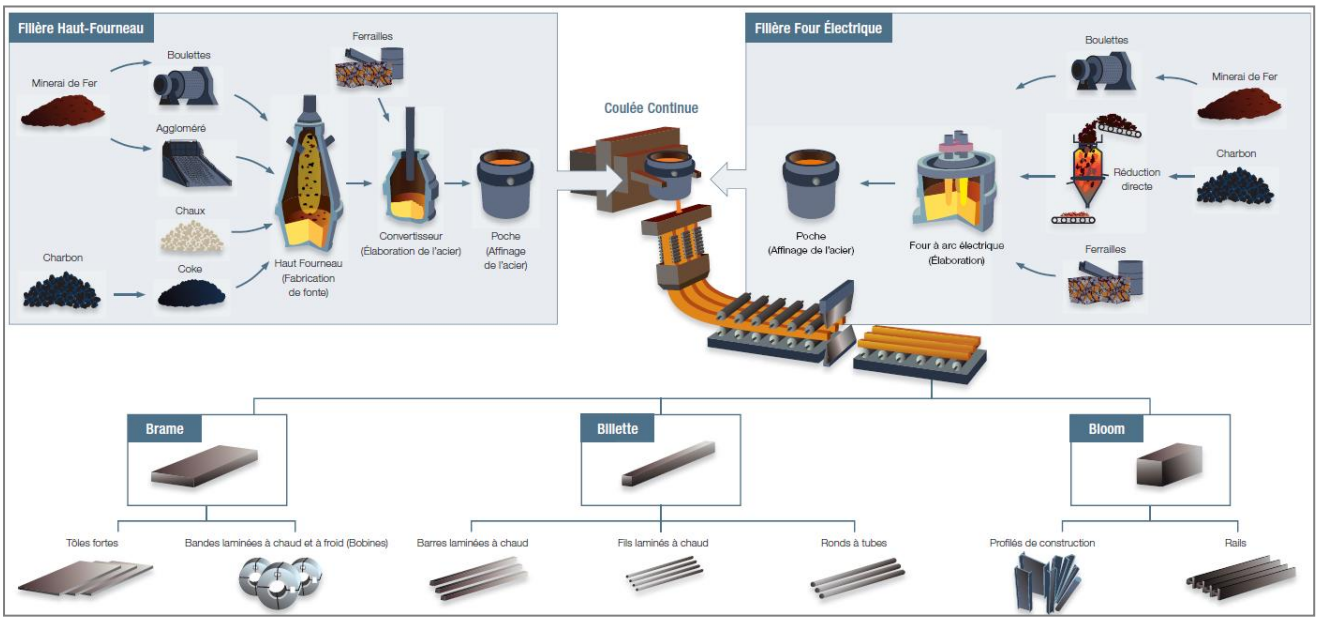


Figure 96 : Représentation schématique des processus de production d'acier, selon les filières haut-fourneau et four électrique

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.

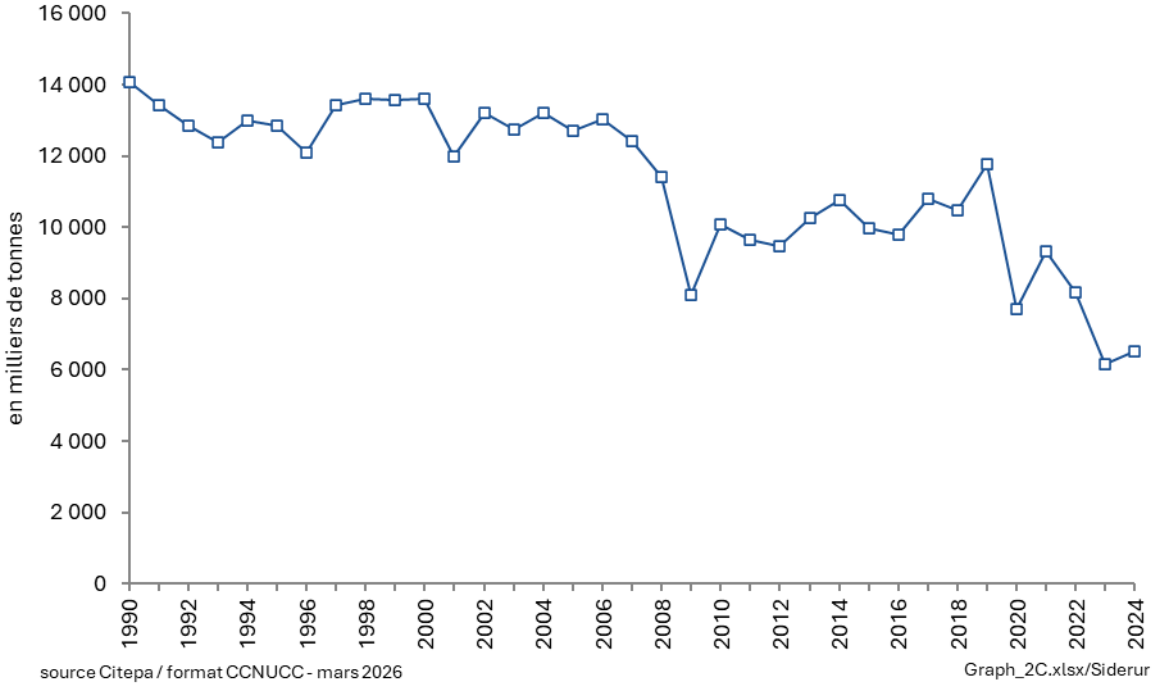
Actuellement, deux sites intégrés de production d'acier sont en activité (présence du four à coke, du haut-fourneau, du convertisseur à oxygène, et de laminoirs), un site ayant fermé ses hauts-fourneaux et le four à oxygène en octobre 2011. Certains sites disposent d'une ou plusieurs activités spécifiques (hauts-fourneaux ou chaîne d'agglomération 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. Une tendance à la baisse était observée entre 2022 et 2023 (-34% comparé à 2021, en particulier entre 2022 et 2023 avec -25% – voir graphique suivant), due à la baisse de la production des deux hauts-fourneaux principaux. En 2024, un rebond dans la production des hauts-fourneaux de l'un des sites (+26% comparé à son niveau de production de 2023) a permis un léger regain, de 6%, dans la production de fonte brute nationale, tandis que l'autre site majeur poursuit sa tendance récente à la baisse.

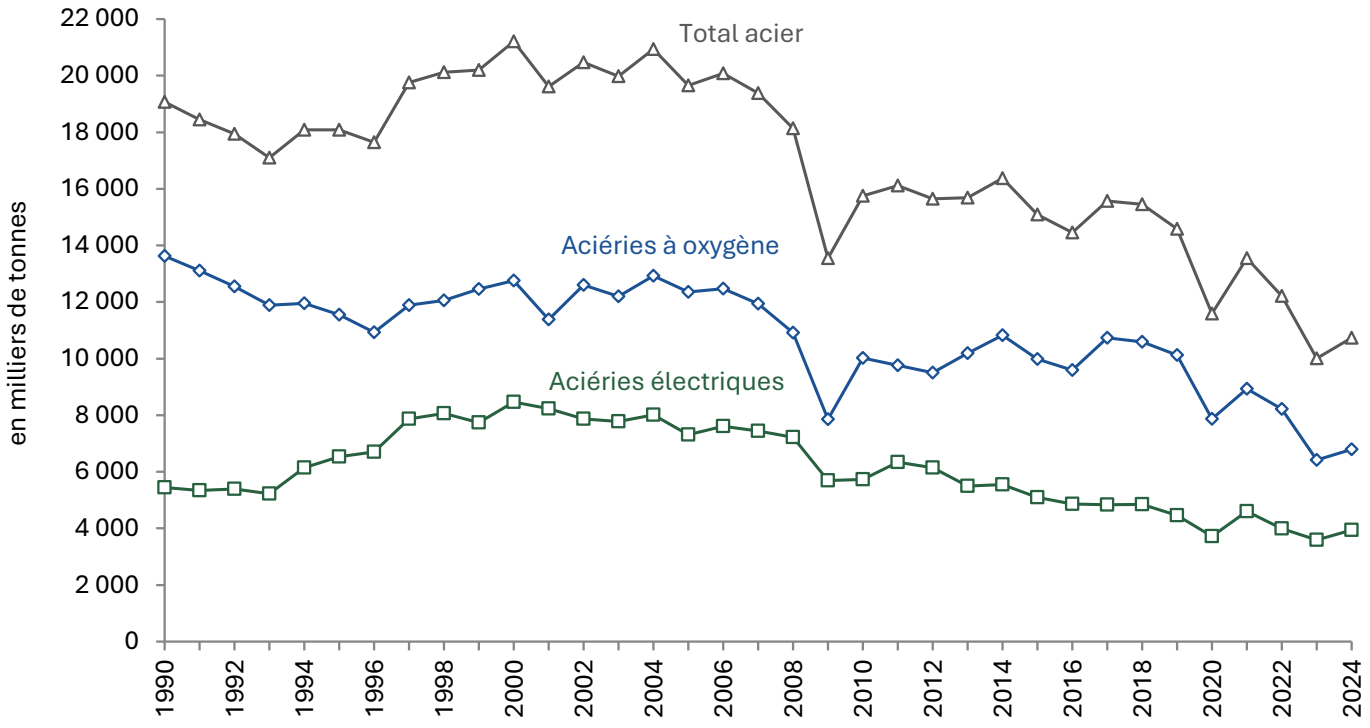
Figure 97 : Production de fonte brute en France (périmètre UE)



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 pour la filière électrique augmente en 2024 par rapport à 2023 (+10%), qui correspond au niveau le plus faible observé sur la série temporelle (-19% comparativement au niveau d'avant-crise en 2019). Sur le long terme, le niveau de production de 2024 reste toutefois en baisse (-28% comparé à 1990).

En ce qui concerne la filière à oxygène, elle représente 63 % de la production totale nationale d'acier en 2024. Cette répartition est en légère baisse ces deux dernières années (67% en 2022), mais reste légèrement stable depuis 1990 (64% en moyenne). Tout comme la production de fonte brute, la production d'acier O_2 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 O_2 (-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 O_2 comparée à 2022, et -18 % de celle d'acier total comparée à 2022. Tout comme pour la filière électrique, le niveau de production d'acier à oxygène de 2023 était le plus faible observé sur toute la série temporelle, amenant la production d'acier totale à un niveau historiquement bas, -48% en dessous de celui de 1990. En 2024 la production d'acier total augmente légèrement, de 7%, par rapport à 2023, avec une légère hausse de la production d'acier O_2 (+6% comparé à 2023) tout comme pour la filière électrique.

Figure 98 : Production d'acier en France – périmètre UE



source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

Graph_2C.xlsx/Siderur

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 dans l'Hexagone (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, depuis 2023, du coke pour le procédé de réduction.

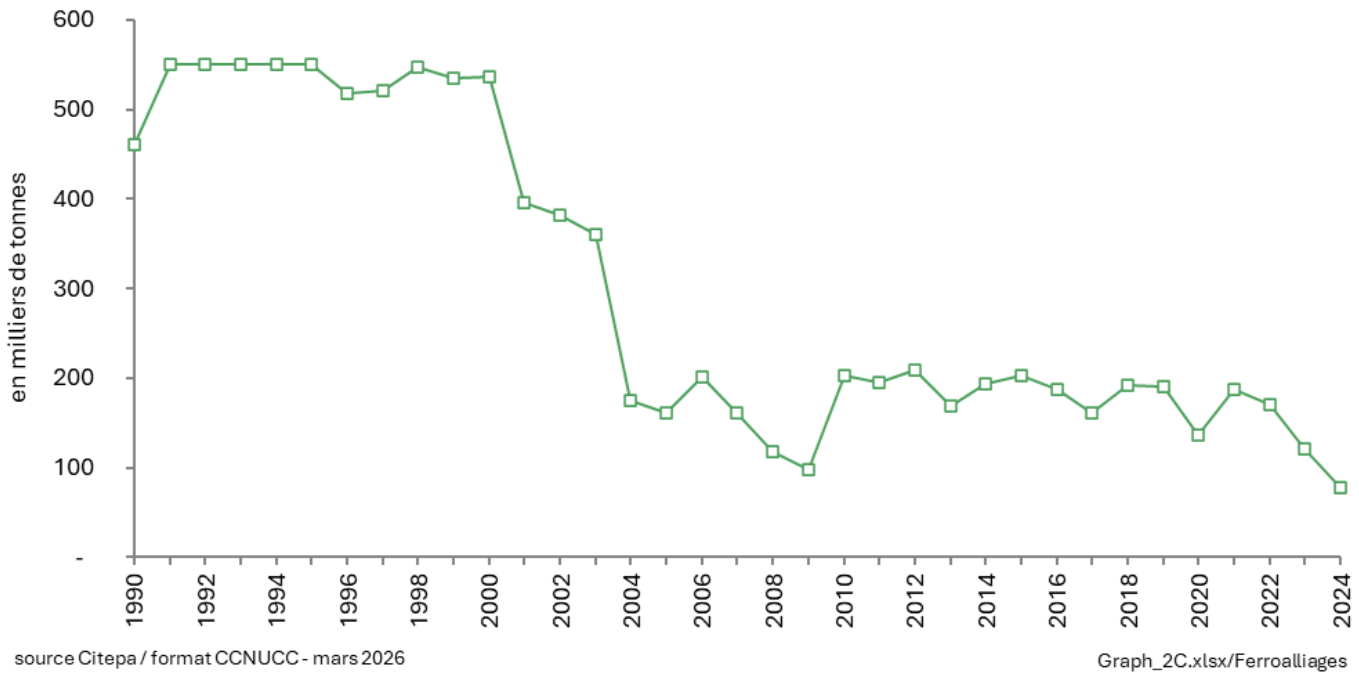
Ferrosilicium

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 99 : 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 100 : Production d'aluminium par électrolyse en France (périmètre UE)

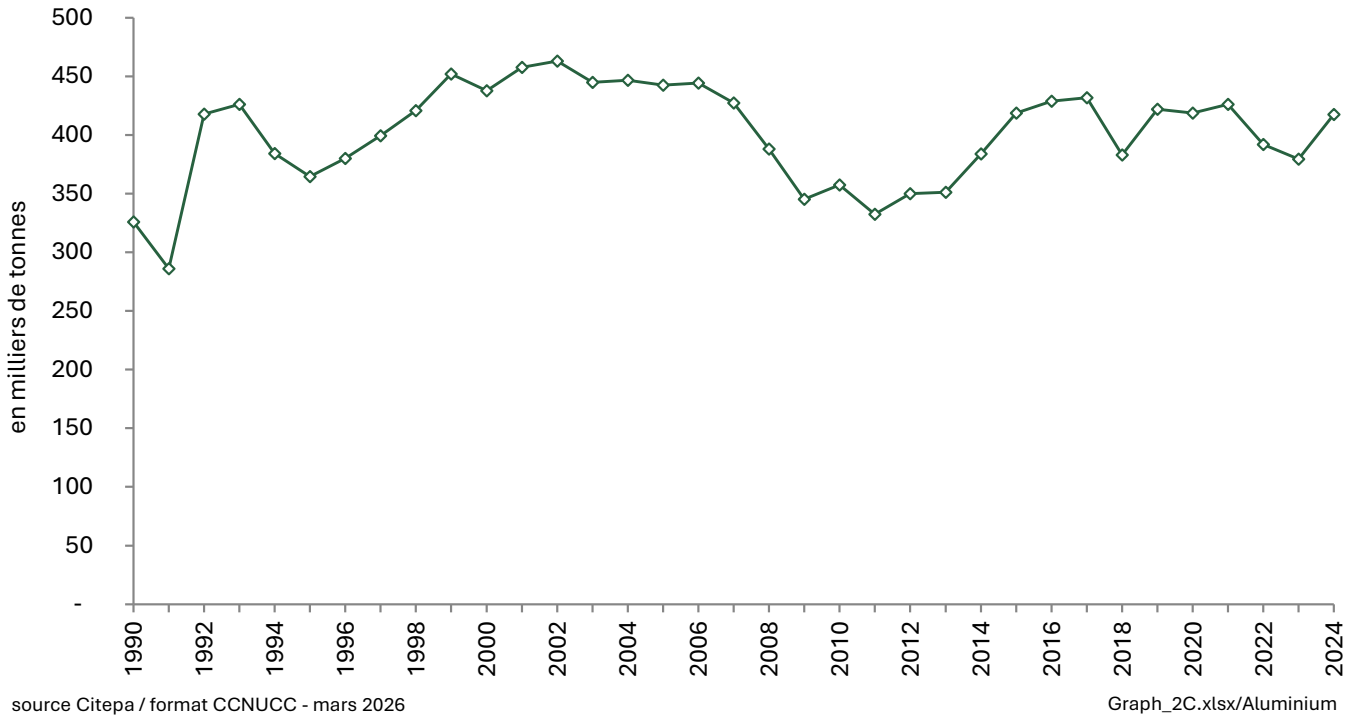
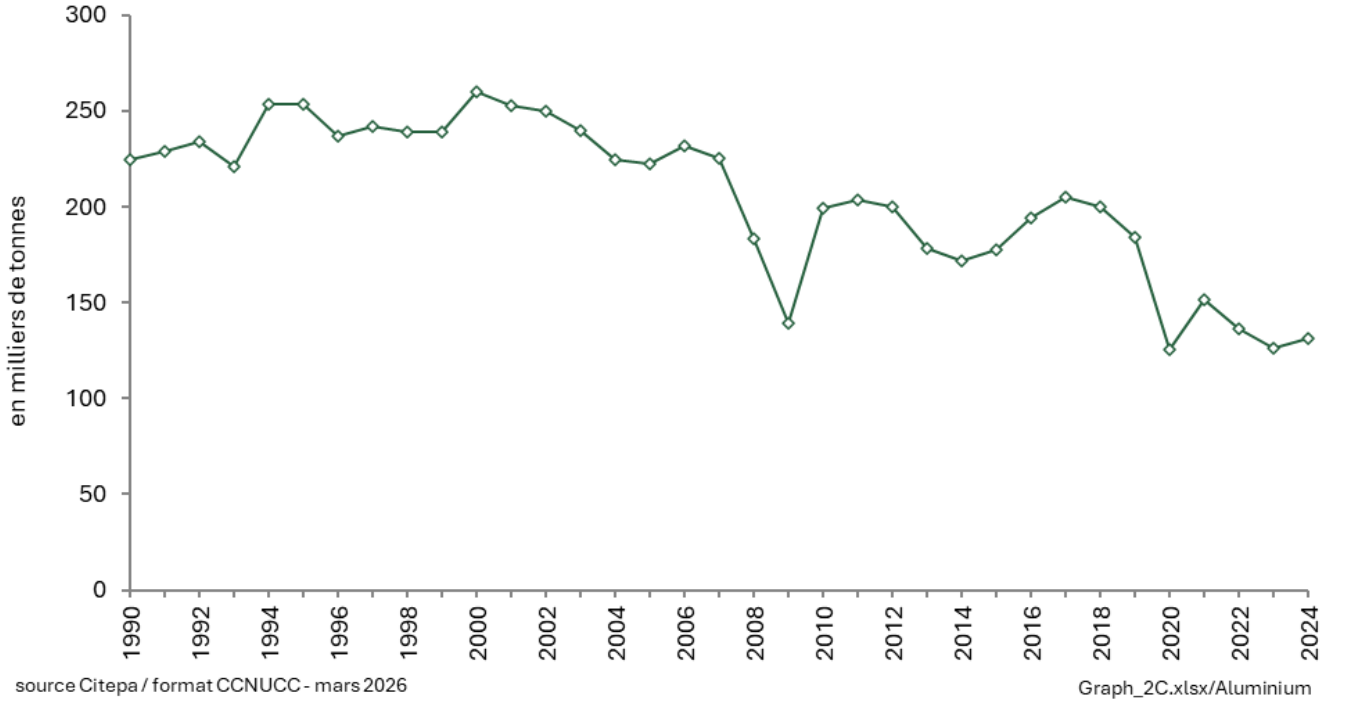


Figure 101 : Production d'aluminium de seconde fusion (France hexagonale)



4.4.1.4 Production de magnésium (2C4)

La production de magnésium n'est pas une catégorie clé en 2024, 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 2024, 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].

Pour les laminoirs, la quantité totale de produits laminés produite en France chaque année est ventilée entre laminage à chaud et laminage à froid. Avant 2008, les volumes de production par type de laminage proviennent des statistiques mensuelles du SESSI [53]. Sur la période 2008 à 2013, la production de produits laminés à froid est déterminée à partir des données de la fédération professionnelle [27], et la production totale de produits laminés est déduite des productions d'acier électrique et d'acier de conversion (acier à l'oxygène), sur la base des déclarations annuelles des aciéries [19], en supposant que tout l'acier produit est laminé. Enfin, à partir de 2014, le bilan A3M (ex-FFA) n'étant plus disponible, cette même hypothèse est conservée et un ratio chaud/froid moyen cohérent avec les niveaux observés dans le SESSI [53] est utilisé pour la ventilation de la production de produits laminés par type de laminage.

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 102 : 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 :

$$E\ CO_{2\ procédé\ (2C1)} = E\ CO_{2\ acier\ O2\ (hors\ gaz\ nat,\ liq)} + E\ CO_{2\ acier\ élec\ (hors\ gaz\ nat,\ liq)} + E\ CO_{2\ autres\ ateliers\ (hors\ gaz\ nat,\ liq)}$$

$$= Prod._{acier\ O2} \times FE\ CO_{2\ moyen\ acier\ O2\ (hors\ gaz\ nat,\ liq,\ hors\ cokerie)\ (2005\text{-}2011)}$$

$$+ Prod._{acier\ élec} \times FE\ CO_{2\ moyen\ acier\ élec\ (hors\ gaz\ nat,\ liq)\ (2005\text{-}2018)}$$

$+ \%_{\text{moyen autres ateliers (hors gaz nat, liq)(2005-2019)}} \times E\ CO_{2\ \text{totales}}$

Avec :

$FE\ CO_{2\ \text{moyens}}$	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 :
$FE\ CO_{2\ \text{moyen acier O2 (hors gaz nat, liq, hors cokerie) (2005-2011)}}$	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.
$FE\ CO_{2\ \text{moyen acier élec (hors gaz nat, liq) (2005-2018)}}$	pour le FE CO_2 moyen des aciéries électriques, la moyenne est prise sur la série temporelle 2005-2018.
$\%_{\text{moyen autres ateliers (hors gaz nat, liq)}}$	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 » ($E\ CO_{2\ \text{totales}}$), 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 [460] 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 l'Hexagone [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)

Hexagone :

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) :

En 2024, il existe trois sites en Nouvelle-Calédonie : deux sites de production de ferronickel et un site de production d'hydroxyde de nickel. Les facteurs d'émission sur la période sont calculés à partir des productions et émissions connues pour les années 2005 à 2024 pour un premier site, 2013 à 2024 pour un second, 2009 à 2016 pour le troisième. Compte tenu du nombre limité de sites, les facteurs d'émission sont confidentiels.

Les émissions de CO_2 des sites sont déterminées par bilan massique, à partir des données de consommations de matières carbonées (anthracite, carbonates, électrodes, etc.) et de production de produits finis. Les quantités et les teneurs en carbone sont collectées auprès des industriels dans le cadre des inventaires d'émission de la Nouvelle-Calédonie puis communiquées au Citepa par la DIMENC. [1318]

Pour l'année 2024, ces informations n'ont pas pu être obtenues à temps. Les méthodologies suivantes ont donc été temporairement appliquées :

Les émissions de CO_2 des deux sites de production de ferronickel ont été obtenues en multipliant le facteur d'émission par tonne de ferronickel produit, pris égal à celui de 2023, par la quantité de ferronickel produite en 2024, obtenue à partir des statistiques de l'IEOM et les rapports annuels d'Eramet. [60][1317]

Les émissions de CO_2 du site de production d'hydroxyde nickel, les quantités de carbonates consommés et produits sont calculés sur la base du ratio des quantités de carbonate par rapport au contenu nickel de l'hydroxyde de nickel produit en 2023.

- 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

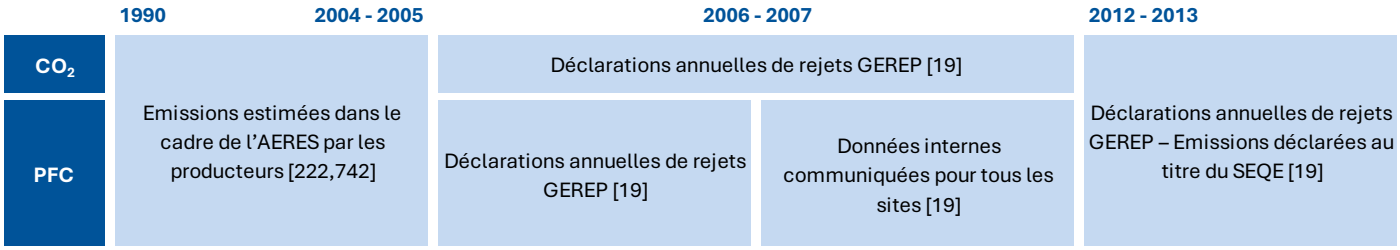
Les seuls gaz fluorocarbonés émis sont des perfluorocarbures (PFC). La production d'aluminium par électrolyse entraîne des émissions de PFC par effet d'anode, lorsque l'alumine vient à manquer dans la cuve d'électrolyse. Les PFC impliqués sont le CF_4 et le C_2F_6.

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 103 : Récapitulatif des données d'émissions pour les GES



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 provienne de données statistiques non détaillées par site sur la période 1990-2002, 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 106 : 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 2024
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 107 : 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 108 : Facteur d'émission CO_2 nationaux pour la production de ferroalliages en France hexagonale

	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 Hexagone 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 109 : 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	FE nationaux 2024
CO_2	1 600 ±10 %	1 637	1 577	1 670	1 587	1 594	1 603
CF_4	0,4 -99/+380 %	1,131	0,179	0,018	0,011	0,009	0,010

C_2F_6	0,04 -99/+380 %	0,212	0,045	0,0012	0,0007	0,0006	0,0006

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	2024
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	14 590	13 990	13 038	10 165	12 889	11 629	9 475	0
Nouveau	kt CO2e	21 791	18 571	19 684	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	9 481	8 821
Différence	kt CO2e	+0,037	+0,029	+1,5	+0,071	-0,47	+0,36	-0,028	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+5,6	+8 821
	%	+0%	+0%	+0%	+0%	-0%	+0%	-0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	+0%	-

Source Citepa / mars_2026 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)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	15 940	13 745	14 877	15 781	11 801	11 246	10 295	12 245	11 677	11 003	11 264	12 605	11 981	11 171	8 699	11 203	10 067	8 130	0
Nouveau	kt CO2e	15 940	13 745	14 879	15 782	11 801	11 246	10 295	12 245	11 677	11 003	11 264	12 605	11 981	11 171	8 699	11 203	10 067	8 130	7 521
Différence	kt CO2e	+0,037	+0,029	+1,5	+0,071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+7 521
	%	+0%	+0%	+0%	+0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.C.1

Description du recalcul

Sidérurgie : Les recalculs mineurs observés dans le tableau ci-dessus pour la période 1990-2008 sont dus à des légers recalculs sur les émissions des cokeries (CRT 1A1c) avec la révision du FE CO_2 de la combustion du gaz naturel, et donc le total des deux secteurs restent inchangés, c'est une réallocation.

SNAP 040210 (CRT 2C1f) : la donnée d'activité (tonnes de résidus métalliques traités) est modifiée sur la période 1997-2015 sur la base des données fournies par l'exploitant. Les émissions des années 1997-2000 étant calculées à partir des tonnes de résidus traités et du facteur d'émission moyen calculé sur 2001-2015, elles ont été recalculées.

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 le site de production d'hydroxyde de nickel en Nouvelle-Calédonie : le site produit du carbonate de cobalt ($CoCO_3$), mais le contenu en carbone de ce produit n'était pas pris en compte sur la période 2017-2023 pour estimer

les émissions totales du site par bilan massique. Cela a été corrigé pour l'inventaire de l'année 2024. Cela a pour impact d'abaisser les émissions du site du 2017-2023. - Ferrosilicium : pas de recalcul.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude et de l'exhaustivité.

4.4.5.3 Production d'aluminium primaire (2C3)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	3 745	2 473	2 451	1 445	644	637	688	657	679	714	779	715	687	727	725	732	655	625	0
Nouveau	kt CO2e	3 745	2 473	2 451	1 445	644	637	688	657	679	714	779	715	687	727	725	732	655	630	700
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+5,6	+700
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	+1%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.C.3

Description du recalcul

Correction d'une non-conformité sur la non-prise en compte des CF_4 et C_2F_6 pour un site de production sur l'exercice 2023 : comptabilisation de 0,8t de CF_4 et 0,02t de C_2F_6 (représentant au total 5,6 ktCO_2e).

Raison et justification

Correction d'une non-conformité sur l'exercice 2023.

4.4.5.4 Production de zinc (2C6)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	11	82	92	65	72	69	64	63	68	61	64	72	75	75	73	79	71	77	0
Nouveau	kt CO2e	11	82	92	65	72	69	64	63	68	61	64	72	75	75	73	79	71	77	78
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	-0,47	+0,36	-0,028	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+78
	%	0%	0%	0%	0%	-1%	+1%	-0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.C.6

Description du recalcul

Mise à jour du facteur d'émission du coke de pétrole ayant un impact entre -0,47 kt et + 0,36 kt entre 2008 et 2012.

4.4.5.5 Autres (2C7)

Pas de recalcul

4.4.6 Améliorations envisagées

Ferroalliages (2C2) : pérenniser l'accès aux données en « bottom-up » auprès de la Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie de la Nouvelle-Calédonie (DIMENC) afin de fiabiliser les estimations des émissions pour les sites de production de ferronickel et d'hydroxyde de nickel en Nouvelle-Calédonie.

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 110 : Substances pour lesquelles le secteur 2D est source clé en 2024 (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 énergétiques (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 (déNO$_x$) 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 et sont destinés à être brulés avec l'essence dans la chambre de combustion. Ils 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 : lors de la lubrification de l'ensemble piston-chemise, une petite partie reste dans la chambre de combustion et est donc brulée. On a donc une consommation non énergétique.

La quantité totale de lubrifiants utilisés en France hexagonale 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 de la méthodologie EMEP/EEA (cf. chapitre transport routier).

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 :

$$FE\ CO_2 = CC\ lubrifiant \times ODU\ lubrifiant \times masse\ molaire\ CO_2 / masse\ molaire\ C$$

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 111 : Evolution des consommations de lubrifiants 2-temps et 4-temps, en France hexagonale et dans les Outre-mer inclus dans l'UE, entre 1990 et 2024

	1990	2000	2005	2010	2015	2020	2024
Total 2-temps + 4-temps métropole (t)	933 000	889 000	769 000	621 000	580 000	538 480	480 551
Total 2-temps métropole (énergétique) (t)	19 737	21 491	20 420	19 117	14 858	10 404	11 780
Total 4-temps métropole (non énergétique) (t)	913 263	867 509	748 580	601 883	565 142	528 076	468 771
Total 4-temps Outre-mer inclus dans l'UE (non énergétique) (t)	16 460	15 630	11 550	6 499	4 176	4 978	434

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] et des déclarations annuelles des rejets des industriels [19].

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 données annuelles de production industrielle ainsi que des déclarations annuelles de rejets industriels à partir de l'année 2004 [19]. Pour les années où les émissions de particules n'ont pas été déclarées, celles-ci ont été estimées à partir du facteur d'émission calculé.

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, modifiée par la directive 2024/1785/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 hexagonale et un seul en Outre-mer. Sur les années 2010 à 2012, une seule centrale thermique en France hexagonale 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 :

$$(NH_2)_2CO + H_2O \text{ à } 2NH_3 + CO_2$$

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 avec 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 2ème 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	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	1 050	1 051	1 116	1 101	978	948	892	948	968	832	876	734	810	741	731	954	1 010	833	789
Différence	kt CO2e	+20	+17	+18	+15	+20	+25	+21	+5,5	-4,0	-43	-35	+20	+24	-9,8	-0,075	-74	-118	-106	+789
	%	+2%	+2%	+2%	+1%	+2%	+3%	+2%	+1%	-0%	-5%	-4%	+3%	+3%	-1%	-0,01%	-7%	-10%	-11%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.D

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)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	538	501	516	445	363	375	358	350	343	342	341	330	336	329	310	324	295	278	0
Nouveau	kt CO2e	556	516	530	456	368	381	363	355	347	345	343	333	339	320	323	333	314	278	285
Différence	kt CO2e	+18	+15	+15	+10	+5,6	+5,9	+5,2	+4,6	+3,8	+3,2	+2,9	+2,4	+2,6	-8,9	+13	+8,5	+19	+0,046	+285
	%	+3%	+3%	+3%	+2%	+2%	+2%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%	-3%	+4,13%	+3%	+7%	+0%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.D.1

Description des recalculs

La population (France hexagonale, DOM et TOM) etla consommation de lubrifiants pour les moteurs 2-temps (énergétique) ont été mises à jour sur toute la série temporelle. La consommation totale de lubrifiants (2-temps + 4-temps) a été actualisée pour les années 2019 à 2023.

Raison et justification

Amélioration de la cohérence temporelle.

4.5.5.2 Utilisation de paraffines (2D2)

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	54	49	70	93	82	93	46	18	13	34	33	40	42	38	34	40	40	31	0
Nouveau	kt CO2e	56	51	73	97	85	97	48	18	13	35	34	42	43	40	36	42	42	33	39
Différence	kt CO2e	+2,4	+2,2	+3,1	+4,1	+3,7	+4,2	+2,1	+0,79	+0,57	+1,5	+1,5	+1,8	+1,9	+1,7	+1,5	+1,8	+1,8	+1,4	+39
	%	+4%	+4%	+4%	+4%	+4%	+4%	+4%	+4%	+4%	+4%	+4%	+4%	+4%	+4%	+4,48%	+4%	+4%	+4%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.D.2

Description des recalculs

La population (France hexagonale, 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	2024
Ancien	kt CO2e	438	484	512	548	514	456	466	574	616	500	538	344	408	384	387	663	792	630	0
Nouveau	kt CO2e	438	484	512	548	524	470	480	574	608	452	498	359	427	381	373	579	654	522	465
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	+10	+14	+14	+0,090	-8,4	-48	-39	+16	+19	-2,6	-14	-84	-139	-108	+465
	%	0%	0%	0%	0%	+2%	+3%	+3%	+0%	-1%	-10%	-7%	+5%	+5%	-1%	-3,73%	-13%	-18%	-17%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.D.3.d

Description des recalculs

Les recalculs sont dues à l'actualisation pour un grand nombre d'installations, réalisant des PGS, de la technique d'abattement des COV utilisée.

Raison et justification

Amélioration de de la précision de l’inventaire.

4.5.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2025, 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	IPPU (4.I.1, 2025) 2. General (IPPU) - CO2	The TERT noted that deviations in CO2 emission in 2022 compared to previous years and the time series for emission levels from some IPPU categories (1 Mton decrease (minus 27.5 per cent compared to 2021) for 2.B.8 CO2 and highest TS value (plus 61.2 per cent compared to the average 1990-2021) for 2.D.3 CO2) was reported in CRT, but the reason behind these deviations was not transparently reported in the NID. During the review, the Party provided an explanation for the deviating emission levels in these categories for 2022 compared to previous years. The Party explained that for 2.D.3, the increase in CO2 emissions in 2022 was caused by a larger use of urea, the decrease for CO2-emissions in 2.B.8. was caused because the production of ethylene (and associated emissions) has decreased by 30%. 3 out of the 6 steam crackers have experienced a fall of production in 2022 due to various reasons of which incident, strike and technical maintenance of the installations. The TERT recommends that the Party includes information in observed deviations in time series development, especially emission decreases, for CO2 emissions from categories 2.D.3 and 2.B.8, and any other category for which substantial deviations in TS emissions are observed especially in recent	2025 Draft BTR review report	To be implemented in the next NIR for 2D3 Implemented for 2B8.

		years, in a transparent manner.		
IPPU	IPPU (4.I.2, 2025) 2. General (IPPU) - CO2	The TERT noted that the Party has reported indirect CO2 emissions from IPPU in CRT table 6 and has provided national total GHG emissions, including and excluding these indirect CO2 emissions. However, in CRT table 6 the source emissions for the indirect CO2 emissions in IPPU are not provided. During the review the Party acknowledged that it had not provided this information. The TERT encourages the Party to also provide the source emissions when reporting indirect CO2 emissions from IPPU in CRT table 6.	2025 Draft BTR review report	To be implemented in the next NIR.

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 hexagonale. 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)

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.

L'estimation des émissions par les différents sites est réalisée selon la méthode 2a des lignes directrices du GIEC 2006 et les recommandations du WSC (World Semi-conductor Council).

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	2024
Ancien	kt CO2e	280	356	636	405	200	226	145	91	88	74	98	125	100	98	88	80	87	54	0
Nouveau	kt CO2e	280	356	636	405	200	226	145	91	88	74	98	125	100	98	88	80	87	54	64
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+64
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.E

4.6.5.1 Fabrication de semi-conducteurs (2E1)

Description des recalculs

Pas de recalcul par rapport à la précédente édition.

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 émissions liées à des gaz fluorés dans les codes 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 2024 (voir figure ci-dessous) il représente 85 % des émissions totales CO_2 équivalentes de gaz fluorés en France hexagonale. Le secteur des aérosols (techniques et pharmaceutiques) est le deuxième contributeur, pour environ 6 %.

Figure 104 : Répartition sectorielle des émissions CO_2 équivalentes de gaz fluorés en 2024 (France hexagonale)

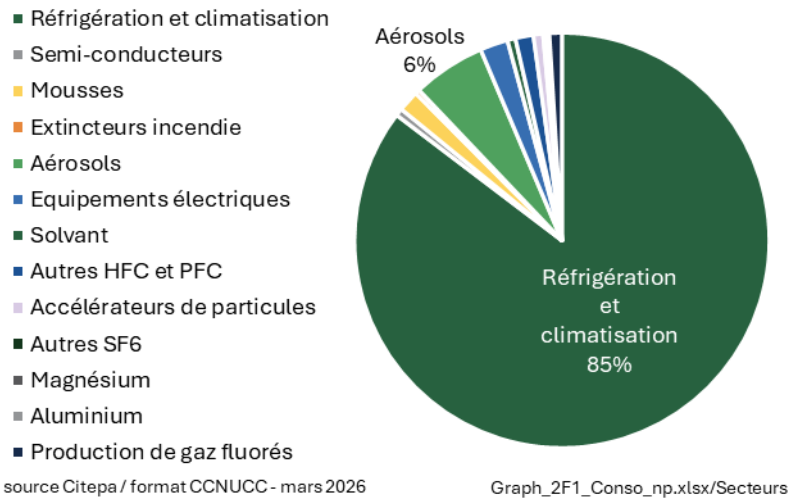


Figure 105 : Répartition sectorielle des émissions CO_2 équivalentes de gaz fluorés en 2024 hors secteur climatisation/réfrigération (France hexagonale)

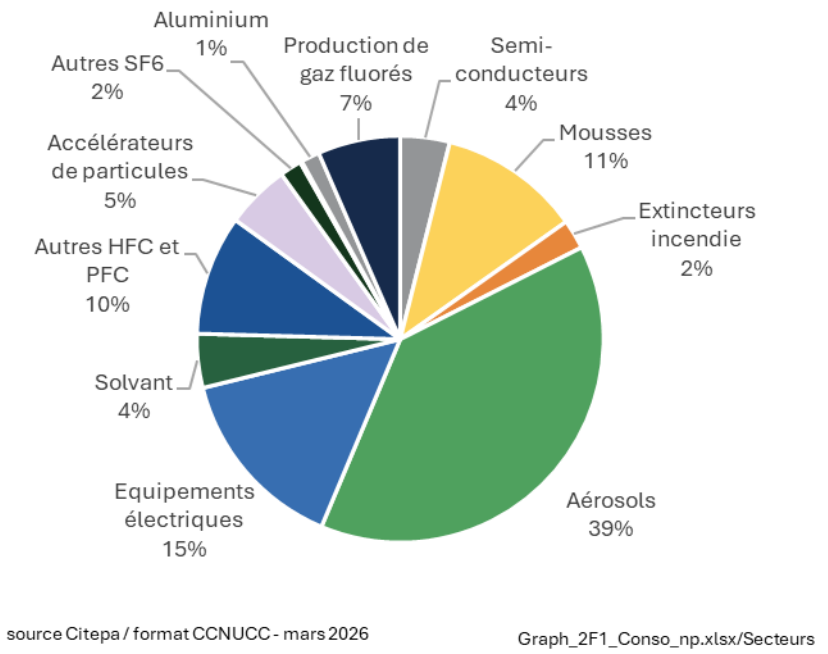
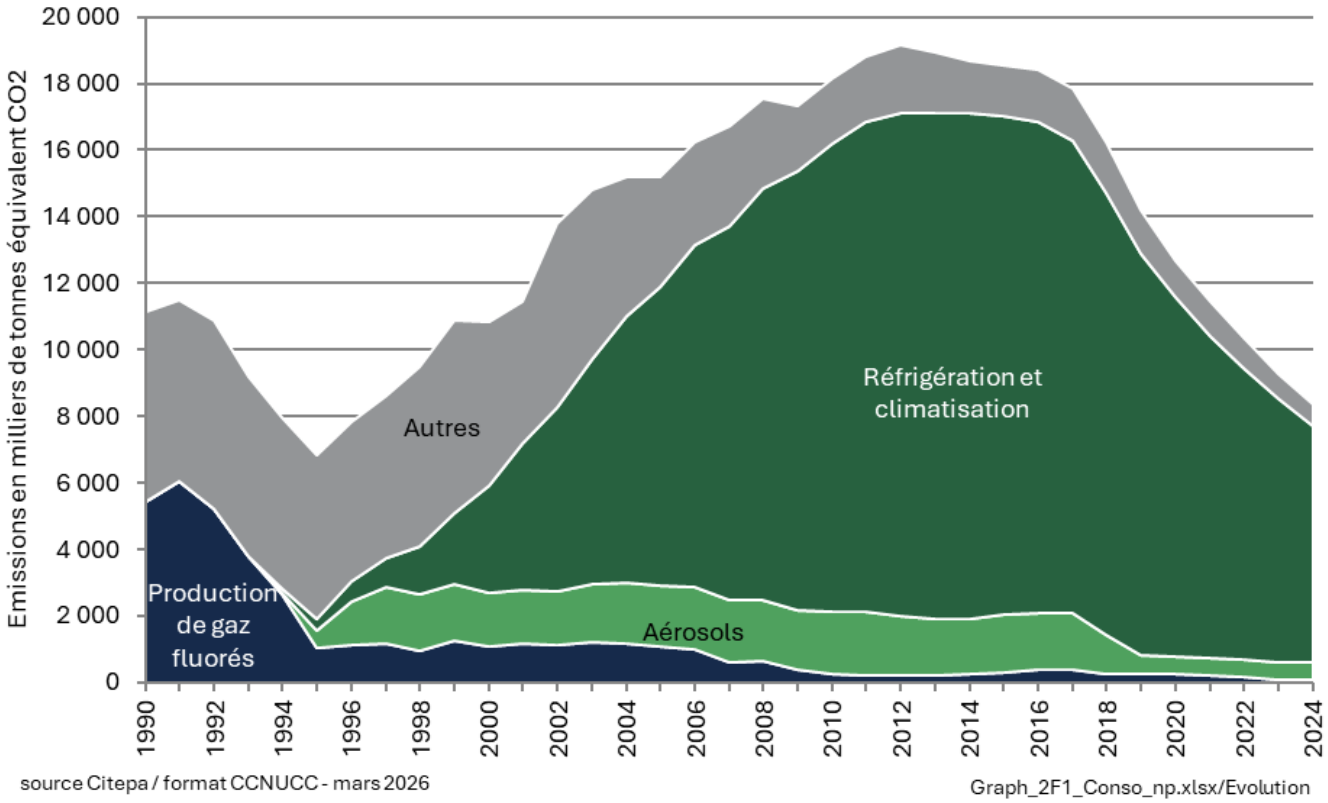


Figure 106 : Evolution des émissions de gaz fluorés de 1990 à 2024 (France hexagonale, en Gg CO2e)



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 112 : Substances pour lesquelles le secteur 2F1 est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
2F1	HFC	10ème	2,1%	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 :

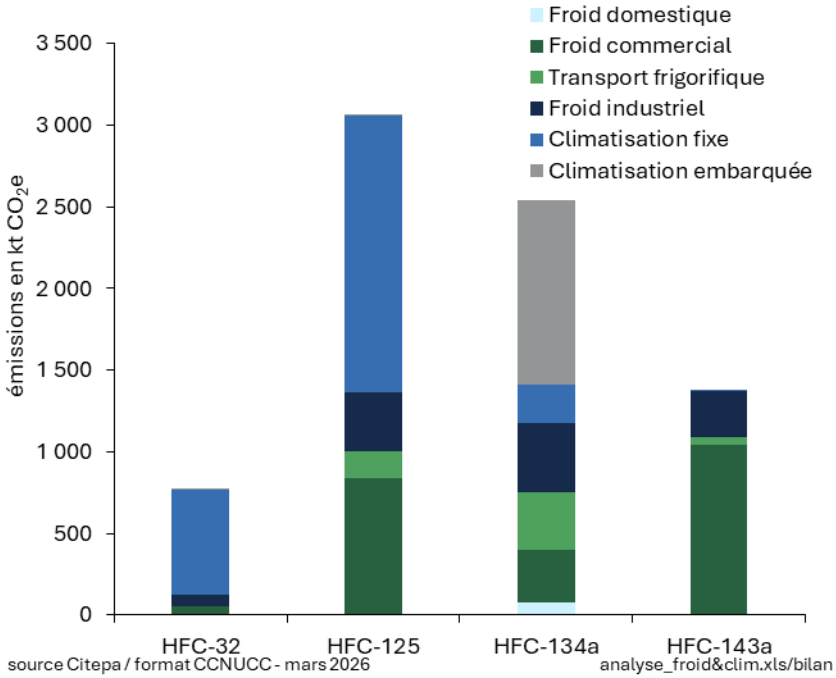
- Les émissions à la charge des équipements,
- Les émissions pendant la durée de vie des équipements (émissions fugitives, lors des opérations de maintenance et de rétrofit),
- Les émissions en fin de vie des équipements, lors de leur démantèlement,
- Les émissions liées à la gestion de conteneurs de 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.

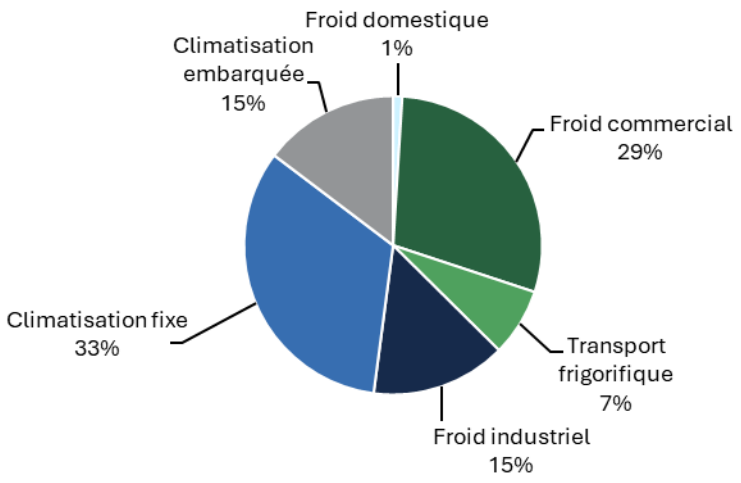
Figure 107 : Distribution des émissions de HFC en CO_2e du CRT 2F1 en 2024 (périmètre France UE)



.

Dans cette édition d'inventaires, l'utilisation du R-404A a été revue, notamment en froid commercial, pour lequel la banque avait été sous-estimée. Les corrections conduisent à une banque de R-404A en froid commercial revue à la hausse et sa part de contributions aux émissions CO2 équivalentes nationales passe de 22 à 29%.

Figure 108 : Contribution des secteurs aux émissions de HFC en CO_2e de la catégorie CRT 2F1 en 2024 (périmètre France UE)



source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 analyse_froid&clim.xls/bilan

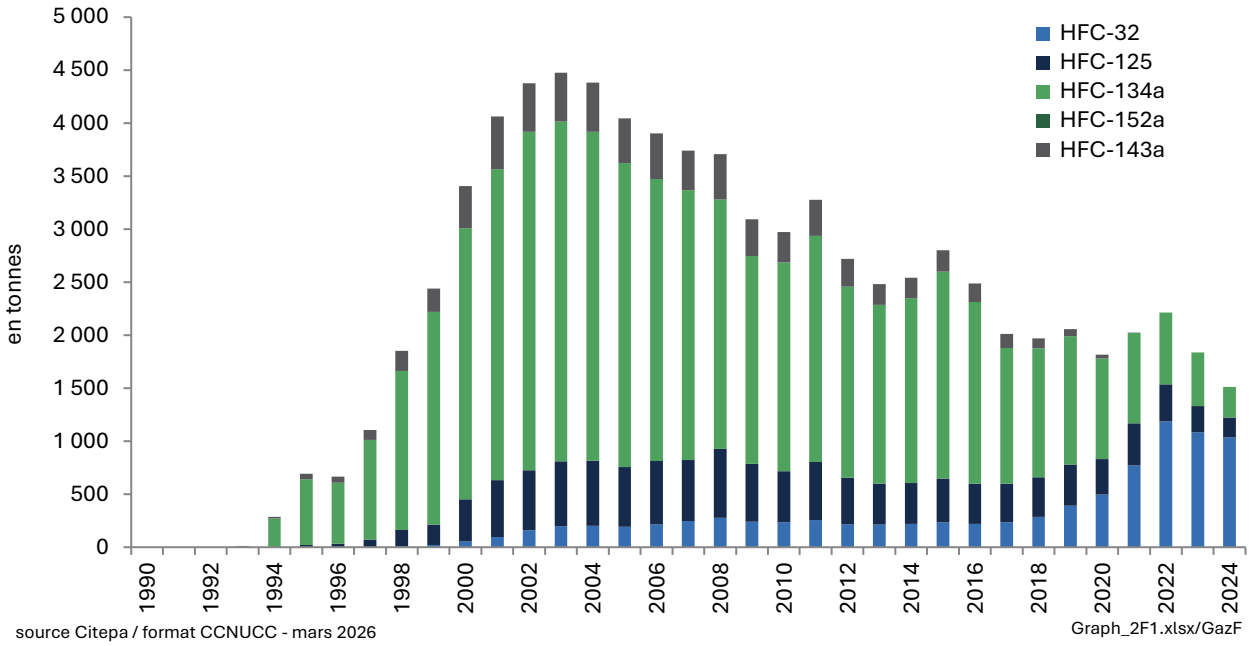
Parmi les fluides frigorigènes utilisés par les secteurs du froid et de la climatisation se trouvent des HFC purs et des mélanges de HFC. Les PRG des principaux mélanges sont les suivants :

Tableau 113 : 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

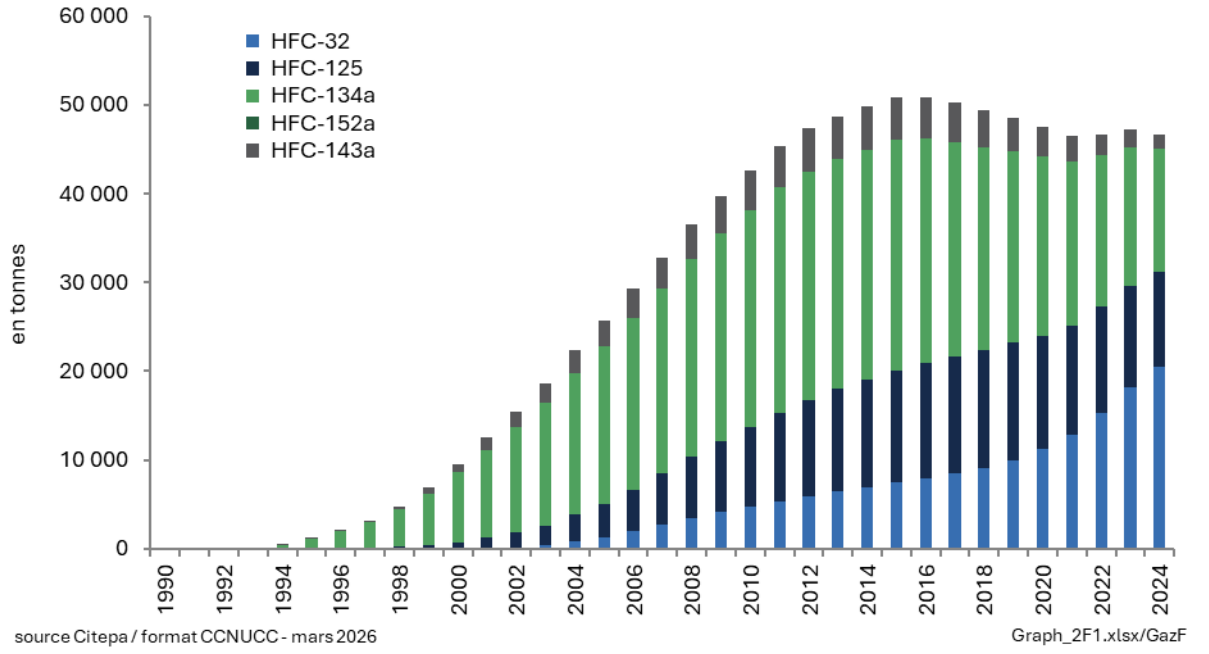
Les graphiques suivants présentent l'évolution des quantités de HFC contenues dans les équipements neufs puis celle de la banque, c'est-à-dire l'évolution des quantités contenues dans les équipements en fonctionnement.

Figure 109 : 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 mais aussi par l'introduction de fluides frigorigènes non fluorés dans plusieurs applications, notamment à parti de 2015. 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 l'introduction progressive du R-32 à la place du R-410A dans les équipements de climatisation à air.

Figure 110 : 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 malgré la croissance du secteur de la climatisation à air du fait de la décroissance des charges nominales des équipements dans la plupart des secteurs et, surtout, à cause du remplacement progressif du R-134a par le HFO-1234yf en climatisation automobile, qui n'est donc pas comptabilisé dans la banque des HFC. Depuis 2021, la banque est en légère croissance à cause de celle du parc de climatisation à air et pompes à chaleur réversibles. Le R-32 représente, depuis 2023, la banque la plus élevée, en cohérence avec la croissance du secteur PAC et climatisation à air et la réduction des parts de R-134a dans les parcs de climatisation automobile et froid domestique . 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.

En Outre-mer, la tendance est un peu différente de celle observée en France hexagonale étant donné que la transition des HCFC vers les HFC s'est fait plus tard, notamment dans les territoires hors UE. Les banques de HFC sont encore en croissance, notamment celles de HFC-143a et de HFC-134a.

1.1.1.2 Mousses isolantes (2F2)

En 2024, 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
    - Parmi les mousses à alvéoles fermées, deux types sont considérées :

        - Les mousses alvéolaires de type polyuréthane PU (panneau continu ou discontinu, polyuréthane projeté – Spray Polyurethane Foam ou SPF –, etc.)
        - Les mousses alvéolaires de type polystyrène extrudé (XPS).
- les mousses à alvéoles ouvertes
    - En France, deux types de mousses à alvéoles ouvertes ont été ou sont utilisées :
        - Les mousses à composant unique OCF
        - Les mousses à peau intégrée PU mises en œuvre notamment dans le secteur automobile pour la production de pièces moulées en polyuréthane tels 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 114 : 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				

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.

A partir de 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 des formulateurs de systèmes polyuréthane sont également prises en compte.

Des fluides de 4ème génération, appelés HFO, 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, engendrées par l'interdiction de mise sur le marché depuis 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 des HFC d'un PRG supérieur ou égal à 150 utilisés dans les mousses en polystyrène extrudé 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 2024, 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 2024, 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 2024, 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 2024, 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 Air conditionné et réfrigération (2F1)

Pour ce secteur, il pourra être utile de consulter le rapport rédigé par le Citepa pour l'AFCE consacré aux secteurs du froid et de la climatisation. Il présente les hypothèses détaillées par secteur comme ci-après mais également l'analyse des résultats par secteur pour l'ensemble des fluides frigorigènes. Il est actualisé chaque année, la dernière version disponible est ici : Rapport septembre 2025 : Fluides frigorigènes – AFCE – Alliance Froid Climatisation Environnement

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[32] 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.

[32] 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[33] 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.

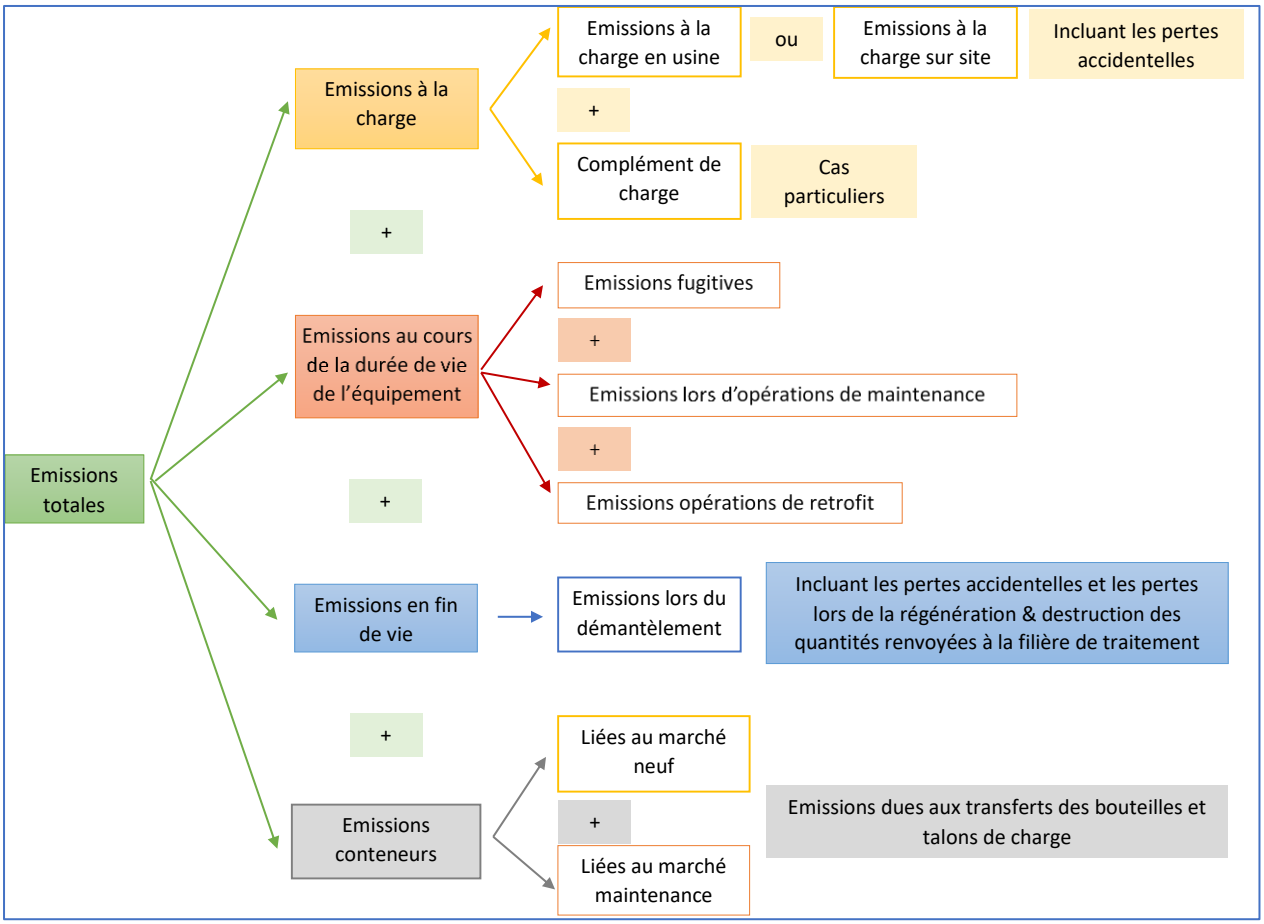
Mise en œuvre de l'approche de niveau 2a

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

[33] 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, tout en conservant le même équipement.

hypothèses retenues ont été comparées aux gammes de variations sectorielles fournies par les rapports du GIEC.



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 111 : 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.

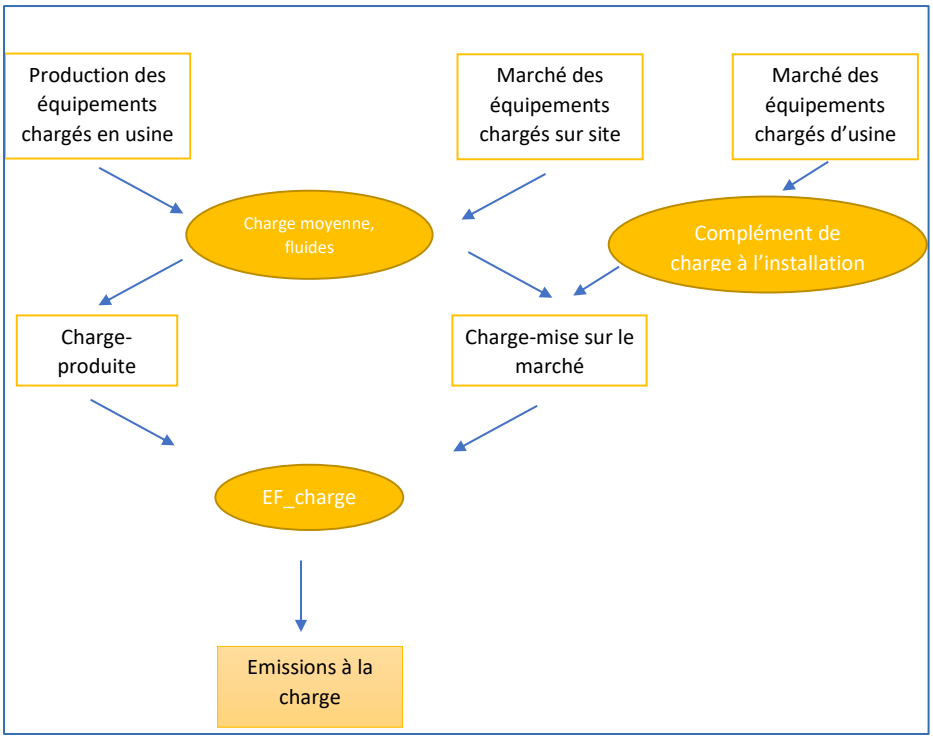


Figure 112 : Schéma de la méthodologie d'estimation des émissions à la charge (2F1)

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).

$$E_charge\ (i,j) = EF_charge\ (i) * [A_k * Charge_{produite}(i,j) + [(1-A_k)+A_k*B_k]*Charge_{mise\text{-}sur\text{-}marché}(i,j)] \qquad (2.2F1)$$

Avec :

EF_charge: Facteur d'Emission à la charge

$$Charge_{produite}\ (I,j) = Equipment_production(i) * Refrigerant_production_share\ (i,j) * Average_charge\ (i,j) \qquad (3.2F1)$$

$$Charge_{mise\text{-}sur\text{-}marché}\ (i,j,k) = Equipment_market(i,k) * Refrigerant_market_share\ (i,j,k) * Average_charge\ (I,j,k) \qquad (4.2F1)$$

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 115 : 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) Non = 0 (charge sur site)	0 pas de complément 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.

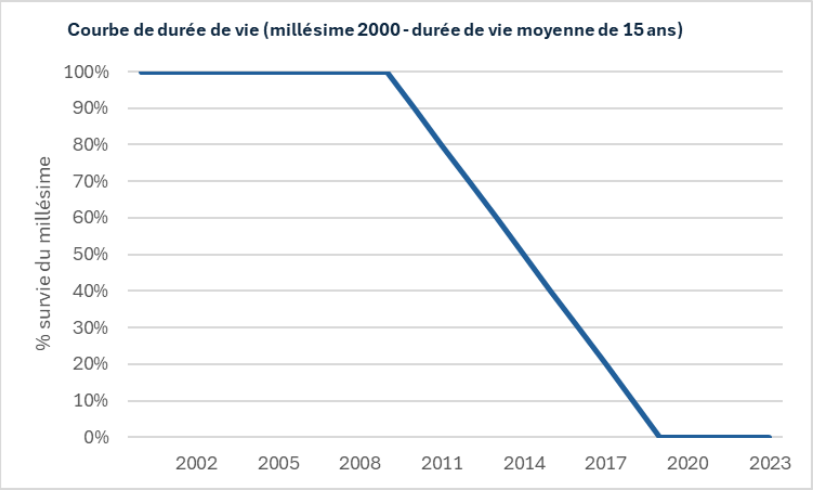


Figure 2F1- 2 – Exemple de courbe de durée de vie

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.

$$\boldsymbol{banque}\ (\boldsymbol{i},\boldsymbol{j}) = \sum_{L=i-DDVmax+1}^{i} \mathbf{Part_Restante(L,i)} * \mathbf{charge_{marché(L,j)}} \qquad \textbf{\textit{(5.2F1)}}$$

$$\boldsymbol{banque}\ (\boldsymbol{i},\boldsymbol{j}) = \sum_{L=i-DDVmax+1}^{i} \mathbf{Part_Restante(L,i)} * \mathbf{charge_{reelle(L,j)}} \qquad \textbf{\textit{(5bis.2F1)}}$$

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.

$$\text{Emiss_fugitive (i,j,k)} = \overline{EF_{fugitive_{bank}}}(i,k)\ ] * \text{Bank_reelle (i,j,k)} \qquad (7.2F1)$$

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.

$$Emiss_{maint(i,j,k)} = (1 - C(k)) * EF_{recharge(i,k)} * \text{Complement}_{\text{Charge}(i,j,k)} + C(k) * \text{EF_recharge}_{(i,k)} * \text{Emiss_fugitive}_{(i,j,k)} \qquad (8.2F1)$$

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.

$$\boldsymbol{Charge_{retrofit}\,(i,j,k) = \sum_{Jret} \mathbf{Retrofit(Jret,j,i)/100 * Bank_reelle(i-1,Jret,k)}}$$

(9.2F1)

$$\boldsymbol{Banque_{retrofitee}\,(i,Jret,k) = \left(\mathbf{100\%} - \frac{\mathbf{Retrofit(Jret,jret,i)}}{\mathbf{100}}\right) * \mathbf{Bank_reelle(i-1,Jret,k)}}$$

(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

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'é

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 [1402].

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, , l'ensemble des données et hypothèses nécessaires au calcul, soit : 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 116 : 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 & charge moyenne & fluides utilisés
Durée de vie	Banque	Marchés d'équipements et fluides utilisés & Charge moyenne & durée de vie Caractéristiques de la maintenance et du retrofit
Fin de vie	Quantités contenues dans les équipements arrivant en fin de vie	Marchés d'équipement & Charge moyenne & durée de vie & 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 hexagonale, 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 septembre 2025 : Fluides frigorigènes – 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 117 : Nombre d'équipements des applications domestiques, pour l'année 2024

Année 2024	Marchés d'équipements	Productions d'équipements
Réfrigérateurs	2 581 000	0
Congélateurs	547 000	0
Caves à vin	140 000	26 000
Sèche linges thermodynamiques	483 000	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 grammes 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 118 : Ratios de charge (en kg/l) et volumes moyens (en l) des réfrigérateurs et congélateurs, en 2024

Année 2024	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]. La réglementation européenne CE 517/2014 interdit la mise sur le marché des réfrigérateurs et congélateurs domestiques contenant un fluide frigorigène de PRG supérieur à 150 depuis 1er janvier 2015.

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 2024, 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 119 : Facteurs d'émission (en % de fluide chargé) à la charge, pour les applications domestiques, en 2024

Année 2024	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 quatre sous-applications de ce secteur.

Année 2024	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 2024	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 120 : 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

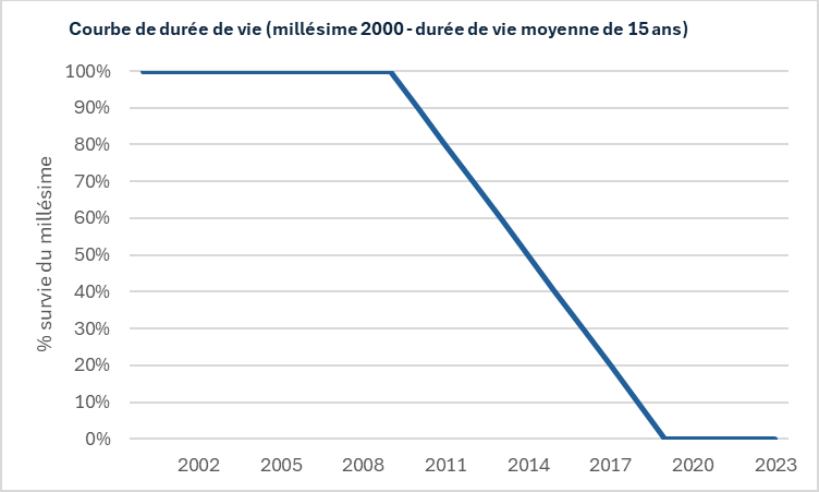
Durée de vie moyenne

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 113 – 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 121 : Marchés et productions d'équipements de climatisation automobile

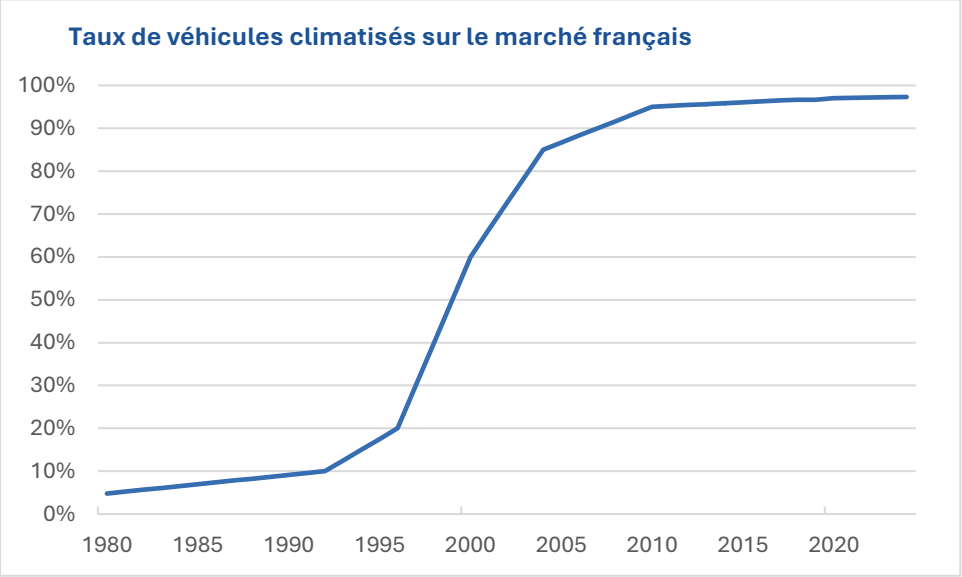
Année 2024	Marchés d'équipements	Productions d'équipements
Véhicules particuliers et utilitaires légers	2 100 000	1 300 000
Véhicules industriels	49 000	38 000
Cars et bus	5 100	3 600

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 114 : Evolution du taux de climatisation automobile en France hexagonale (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 2020-2024.

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 2024, les niveaux moyens de charge par application sont les suivants :

Tableau 122 : Niveaux moyens de charge nominale, par type de véhicule, en 2024 (en kg)

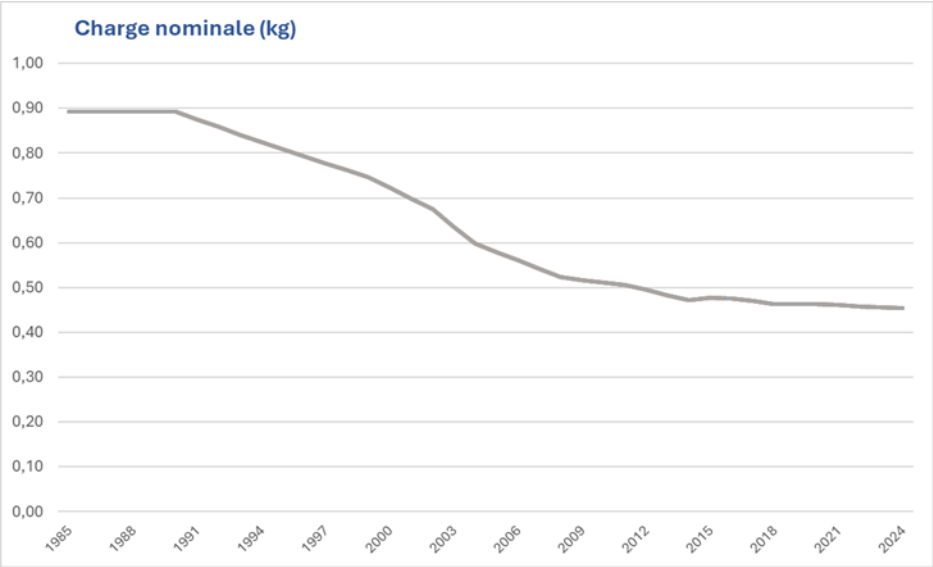
Année 2024	Charge nominale (kg)
Climatisation automobile	0,46
Véhicules industriels	0,90
Cars et bus	9,8
Trains	14,5

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 115 : 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 [1402].

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 2024. 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.

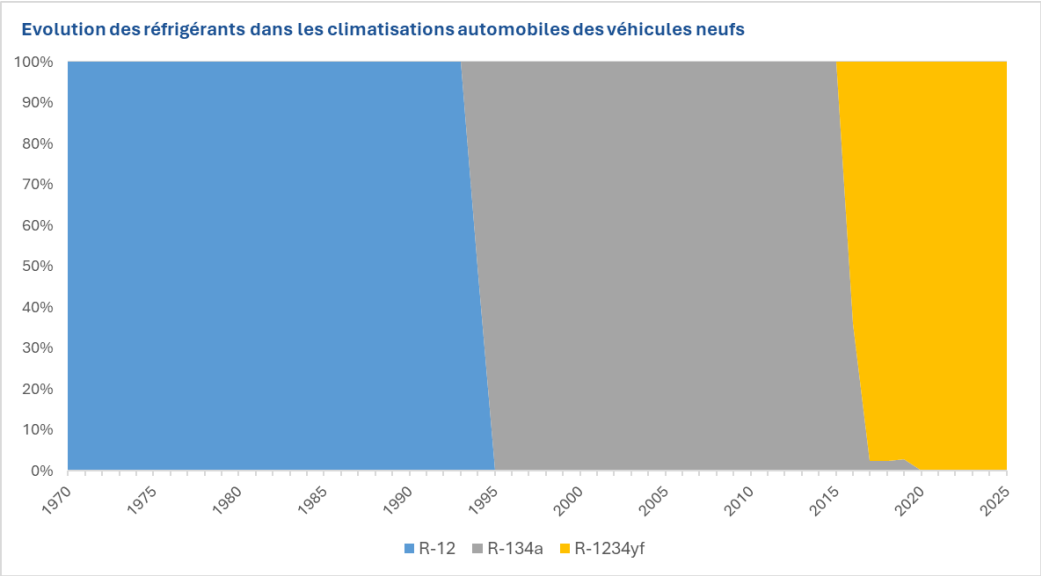


Figure 116 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes de climatisation des véhicules particuliers et utilitaires légers mis sur le marché.

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 se soit 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 2024.

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 123 : Facteurs d'émission à la charge pour la climatisation embarquée, par type de véhicule, en 2024 (en %)

Année 2024	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 124 : Facteurs d'émission fugitifs pour la climatisation embarquée, par type de véhicule, en 2024 (en %)

Année 2024	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] :

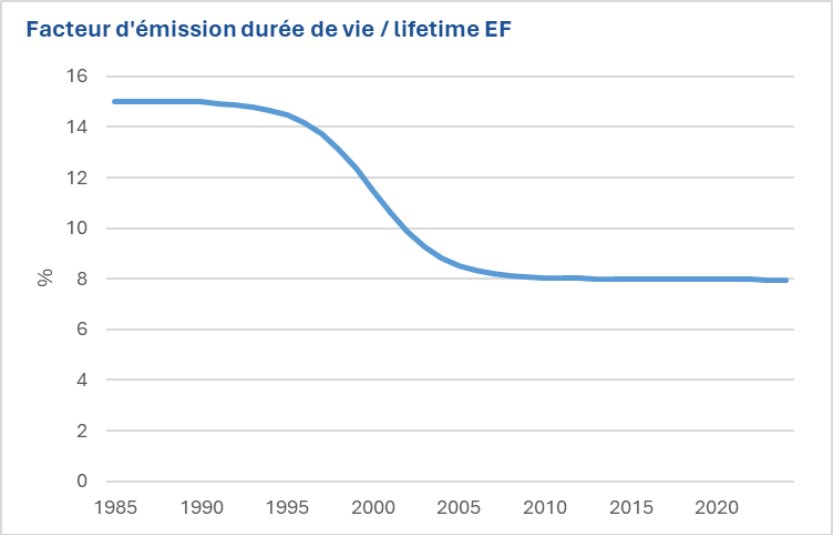
Tableau 125 : Paramètres retenus pour l'équation de calcul des facteurs d'émission pendant le fonctionnement des véhicules (source : GIEC 2006)

	Intervalle		
	Haut	Bas	Moyenne
1ère génération	20 %	10%	15%
2ème génération	10.6%	5.3%	8%

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 117 : 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 126 : Facteurs d'émission de fin de vie pour la climatisation embarquée, par type de véhicule, en 2024

Année 2024	Climatisation automobile	Véhicules industriels	Cars et bus	Trains

Facteur d'émission de fin de vie	43 %	86 %	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 [688] 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 2024, 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 [207]. 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 trois sous-secteurs : les navires réfrigérés, les containeurs frigorifiques autonomes et le transport routier. Ce dernier est scindé en deux 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 127 : 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 128 : Nombre d'équipements du transport frigorifique, pour l'année 2024

Année 2024	Marchés d'équipements	Productions d'équipements
Véhicules utilitaires légers réfrigérés	5 800	5 500
Semi-remorques et camions réfrigérés	5 500	22 500
Reefers	0	0
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 [207]. Depuis 2018, les données ne sont pas publiées et 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] et sur les tendances historiques.

Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques

Les marchés annuels de remorques et de semi-remorques sont estimés de la même façon que pour les véhicules utilitaires légers réfrigérés.

Reefers

La flotte maritime de navires réfrigérés a été estimée à partir de la flotte mondiale, pour laquelle des statistiques sont disponibles [1402]. 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 [1404] 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 la période 2017-2024, faute de nouvelle communication.

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 129 : Evolution des niveaux moyens de charge nominale du transport frigorifique routier (en kg)

Charge de référence (kg)	Avant 2006	2010	2024
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 130 : 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 réalisés par Mines-ParisTech [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. A partir de 2016, le R-452A, avec un PRG de 1945, est proposé pour remplacer le R-404A qui voit sa part se réduire significativement. A partir de 2020 les véhicules frigorifiques utilitaires légers sont essentiellement produits avec du R-452A (à 90%) et du R-134a (10%). Le R-450A peut être également utilisé (<1%).

L'évolution des fluides frigorigènes utilisés a été revue sur la période 2020-2024 sur la base de nouvelles communications et l'ensemble a été estimé 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],
- de communications confidentielles de fabricants d'équipements.

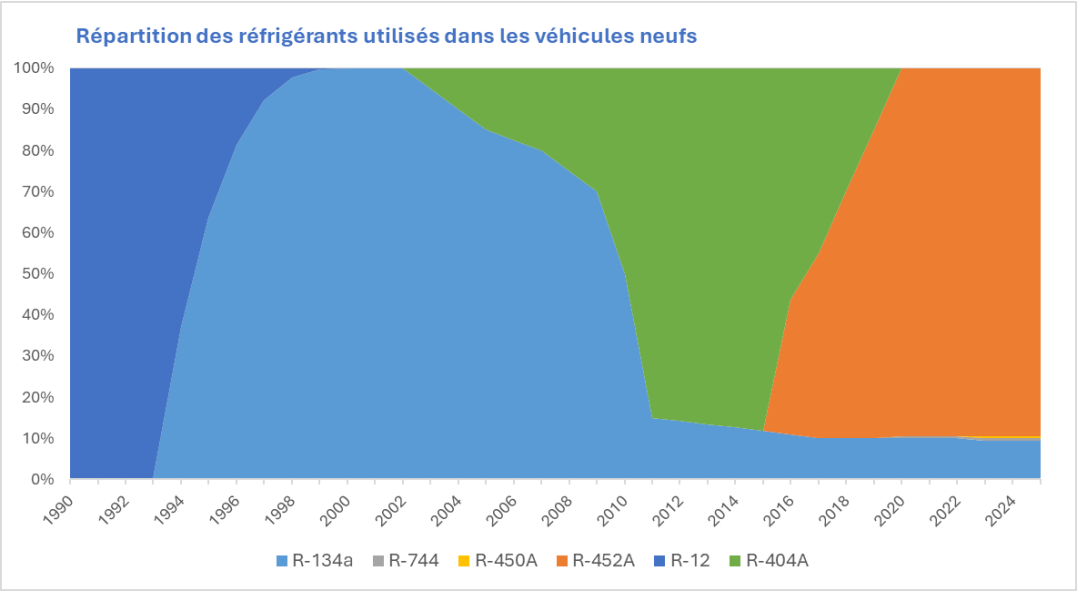


Figure 118 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les véhicules frigorifiques utilitaires.

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 principalement au R-502 puis au R-22. Le R-404A a été introduit dans les années 1995 et son utilisation s'est généralisée à tous les véhicules équipés de groupes frigorifiques autonomes de type « moteur thermique ». Ces hypothèses s'appuient sur le rapport RTOC de 1998 [1107], les anciens rapports d'inventaires [207] de Mines-ParisTech et sur l'évolution de la législation internationale.

Selon les tendances fournies par le Cemafroid, le R-452A remplace progressivement le R-404A entre 2016 et 2020. En 2020, sont également introduits d'autres fluides à faible PRG tels que le R-450A ou le R-744. La répartition des fluides utilisés a été estimée sur la base des mêmes références que pour les véhicules utilitaires légers.

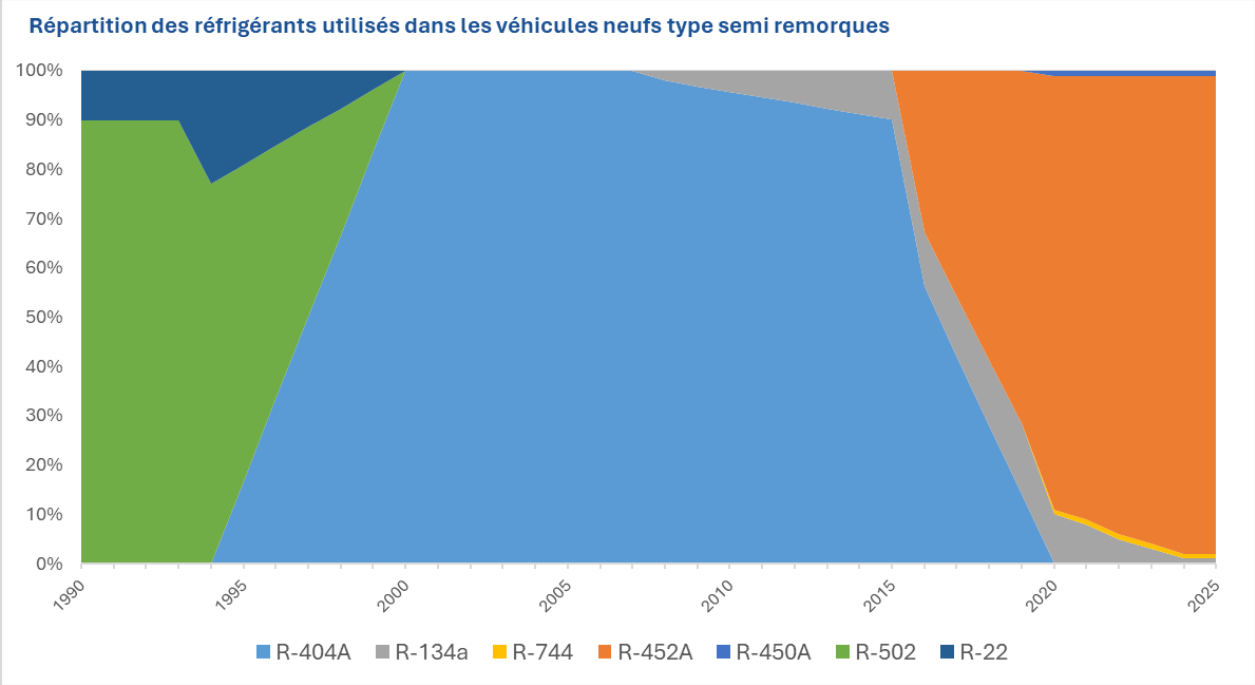


Figure 119 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les camions frigorifiques semi-remorques

Reefers

Entre 1970 et la fin 1999, le R-22 et le R-12 constituent les deux fluides frigorigènes 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 de la flotte internationale à la fin des années 1990.

Le R-404A, le R-410A et le R-717 ont progressivement été introduits dans les équipements neufs à partir de 2000. On considère que la part du R-717 atteint 10% en 2020 tandis que les parts du R-404A et R-410A croissent respectivement jusqu'à 30% et 60% en 2020. En parallèle, on considère que la présence du R-22 dans le parc diminue jusqu'à disparaitre du marché neuf en 2020. Sur 2020-2024 le R-404A n'est progressivement plus utilisé, au profit du R-717. Ces résultats reposent principalement sur les rapports RTOC [1107][1405] 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 réalisés par Mines-ParisTech [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 131 : Facteurs d'émission à la charge pour le transport frigorifique, en 2024

Année 2024	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 132 : Facteurs d'émission fugitive pour le transport frigorifique, par type d'équipement, en 2024

Année 2024	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 133 : Facteurs d'émission de fin de vie pour le transport frigorifique, par type d'équipement, en 2024

Année 2024	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) [1406].

Figure 120 – 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 ci-dessus[1406]), 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 134 : Ratios caractéristiques pris en compte pour le calcul du froid industriel, selon le produit ou l'équipement

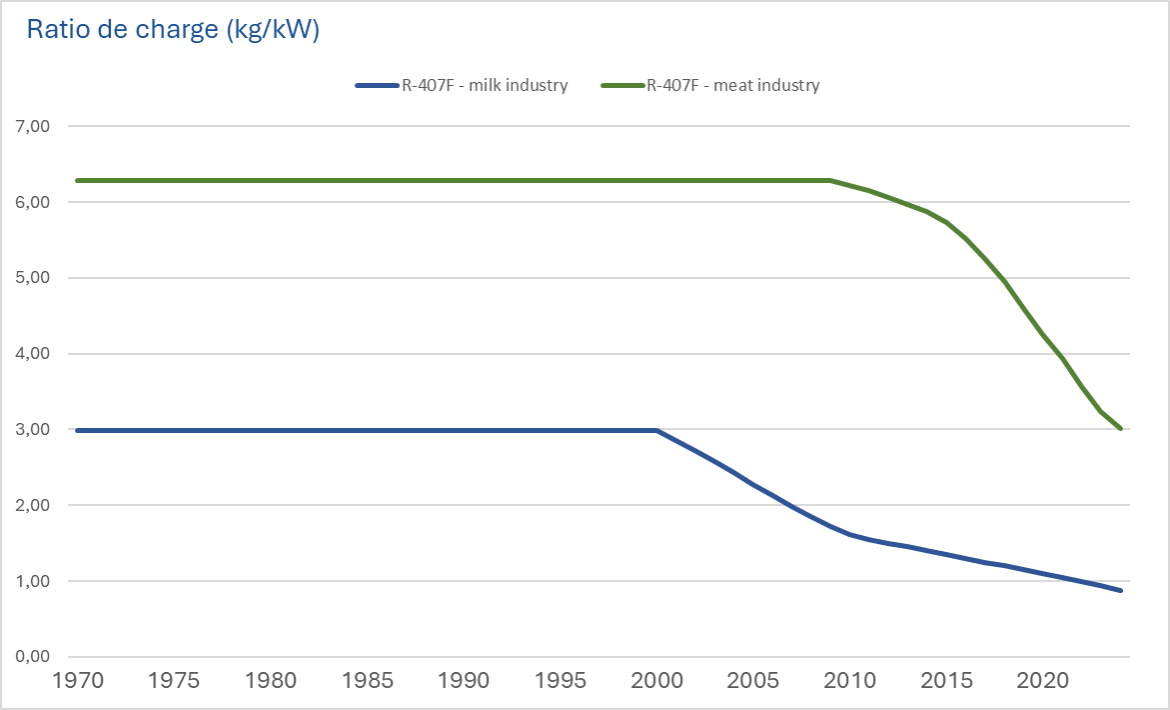
Procédés	Viande (kW/t)	Lait (kW/t)	Autres (kW/t)	Entrepôts (kW/m^3)	Tanks à lait (kg/m^3)

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 121 – 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.

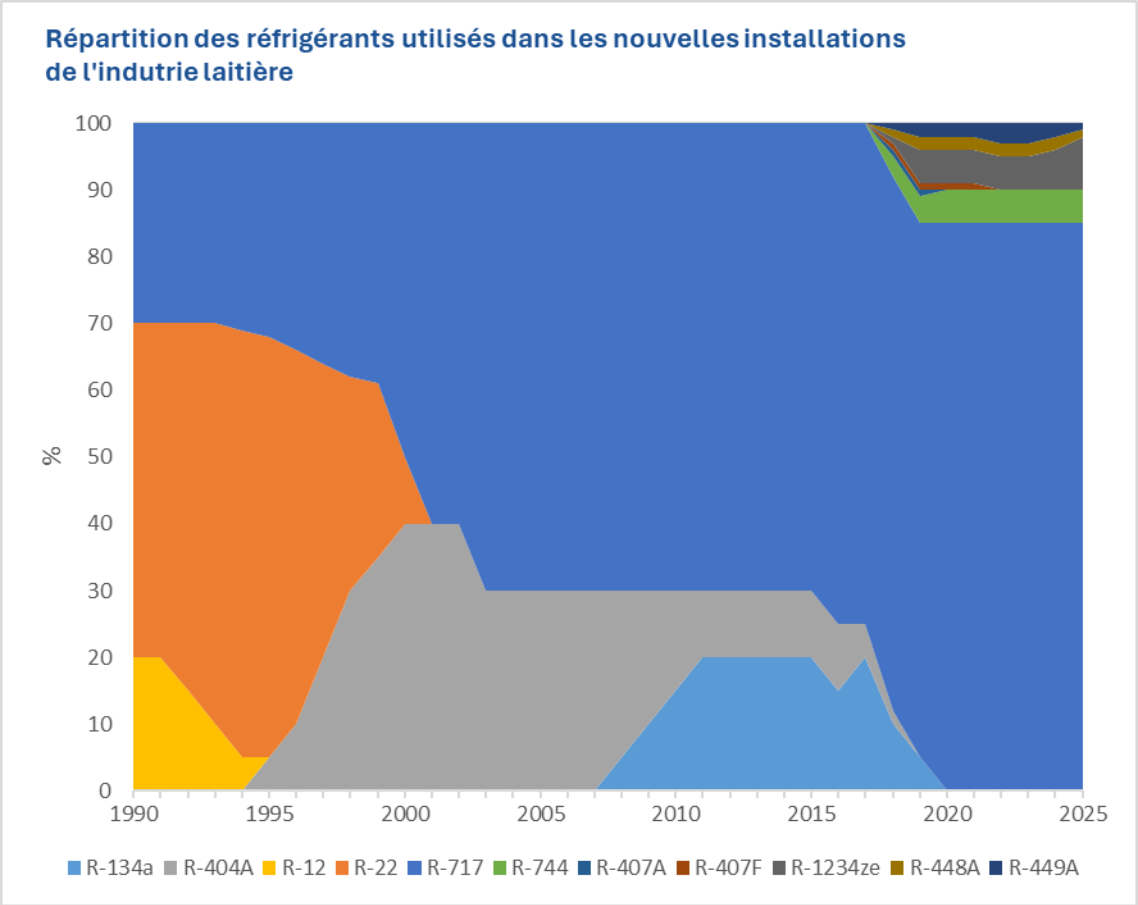


Figure 122 – Répartition des fluides frigorigènes utilisés en agroalimentaire – exemple de l'industrie du lait

Pour les tanks à lait, le R-404A a été progressivement remplacé par le R-448A et 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 135 : Facteurs d'émission à la charge pour le froid industriel, en 2024

Année 2024	Toutes applications
Facteur d'émission à la charge	1,5 %

Fugitif

Tableau 136 : Facteurs d'émission fugitive pour le froid industriel, par type d'application, en 2024

Année 2024	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 [207] 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 137 : Facteurs d'émission de fin de vie pour le froid industriel, par type d'application, en 2024

Année 2024	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 et chauffage***

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. Le nom du secteur

inclus désormais la notion de chauffage, la plupart des splits ou pompes à chaleur air/air étant réversibles et principalement installés pour répondre à un besoin en chauffage.

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) ou pompe à chaleur air/air ;
- Multi-split ;

<u>* Climatisation autonome</u>

- 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 138 : 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	*		
	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 139 : 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 140 : 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
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 [1410]. Pour cette raison les valeurs ne sont pas communiquées dans le rapport.

.

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) [1402].

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 [1402]. 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 l'inventaire 2022, l'évolution du marché des climatiseurs mobiles a été revue depuis 2010, sur la base de la donnée confidentielle du marché 2024 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 [1402], 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 [1405] ;
- 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 anciens rapports d'inventaires de fluides frigorigènes réalisés par Mines-ParisTech [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 AFPAC [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 141 : 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 2024, les charges moyennes dans les différents équipements sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 142 : Niveaux de charge moyenne des équipements de climatisation stationnaire, en 2024 (en kg)

Sous-secteur	Charge moyenne (kg) en 2024	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 [1410] et sont les suivants :

Tableau 143 : 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 réglementations. Les informations sur la répartition des réfrigérants entre 1970 et 1990 sont 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). Ces données annuelles ont été transmises pour les équipements suivants :

- Mono-split ;
- Multi-split ;
- Large split ;
- Rooftop ;
- VRV.

Pour les autres équipements, faute d'information disponible, 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.

Tableau 144 – principaux fluides frigorigènes utilisés sur le marché neufs des équipements en 2024

Sous-secteurs	Fluides frigorigènes en 2024
Mobiles	100% R-290
Windows	20% R-32 80% R-410A
PAC air/air Mono split	3% R-410A 97% R-32
PAC air/air Multi split	2% R-410A 98% R-32
Armoires verticales	31% R-410A 69% R-32
PAC air/air DRV	95% R-410A 5% R-32
Systèmes split centralisé	34% R-410A 56% R-32 10% mélange R1234yf/R-125/R-32
Roof top	21,5% R-410A 68% R-32 10,5% R-450A
Armoires spéciales	20% R-410A 80% R-32

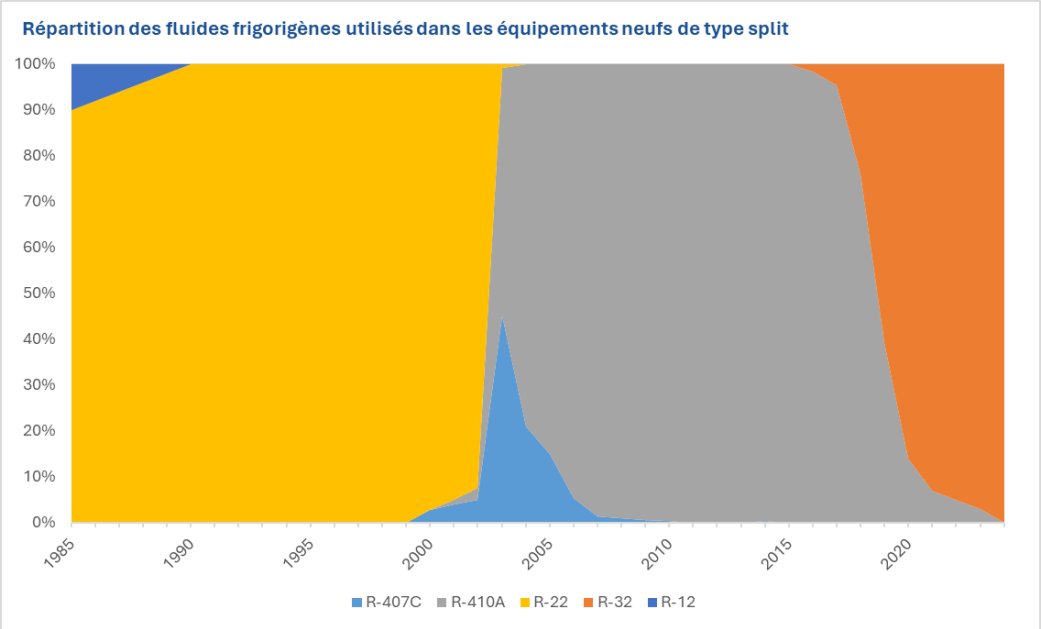


Figure 123 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes splits

Chillers

Pour les chillers à compresseur volumétrique forte puissance (P > 350 kW), les informations sur la répartition des réfrigérants proviennent du rapport RTOC 1998 [1107] 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 anciens rapports d'inventaires de fluides frigorigènes [207] (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 [1106], [1107], [1108], [1109] et à l'aide des données Uniclima [1410] (faisant apparaitre beaucoup plus de R-407C que de R-410A en 2002).

Pour les années récentes, pour les compresseurs centrifuge, les données sont tirées des anciennes études inventaires de fluides frigorigènes [207] (augmentation progressive du R-134a à partir de 1992 pour atteindre 100% du marché des nouveaux équipements en 1999).

Pour les chillers à compresseur volumétrique, les données de réfrigérant ont été communiquées par Uniclima [1410] pour les années les plus récentes (à partir de 2002). Toutefois ces données ont nécessité un post-traitement car elles étaient représentatives des types de chillers à condensation (eau vs air) et non des gammes de puissance (format de restitution utilisé dans les inventaires). La méthode et les hypothèses utilisées pour passer d'un format à un autre est décrite ci-dessous :

- 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).

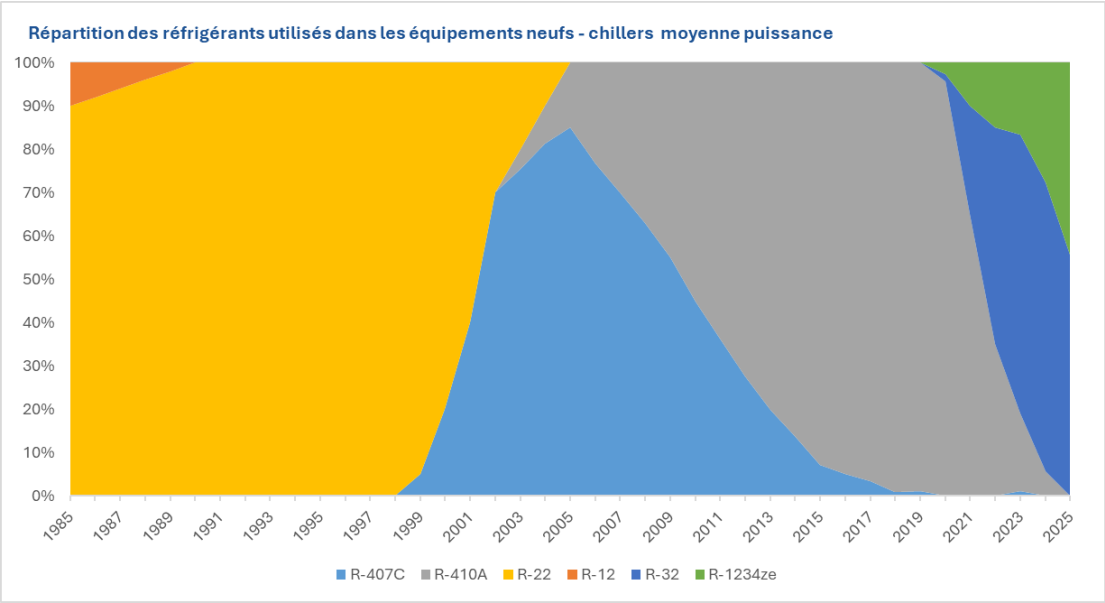


Figure 124 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les chillers de type volumétrique de moyenne puissance

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. Pour les années récentes, les données sur les réfrigérants utilisés montrent la progression du R-32 et le début d'utilisation du propane (R-290), elles sont transmises par d'Uniclima [1410] 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.

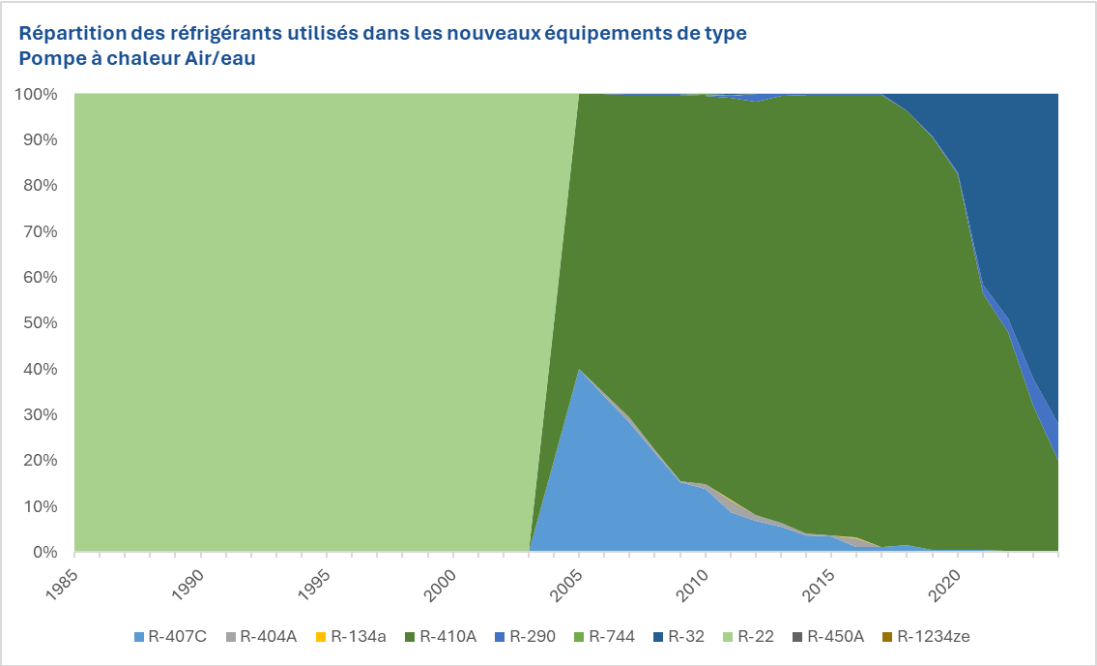


Figure 125 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les pompes à chaleur air/eau

Le R-134a a été le principal fluide frigorigène utilisé dans les chauffe-eau thermodynamiques (CET), jusqu'en 2018. Depuis le R-290 et le R-32 et, plus récemment le R-513A, ont été progressivement introduits sur le marché et remplacent le R-134a dans les nouvelles installations.

Facteurs d'émission

Charge

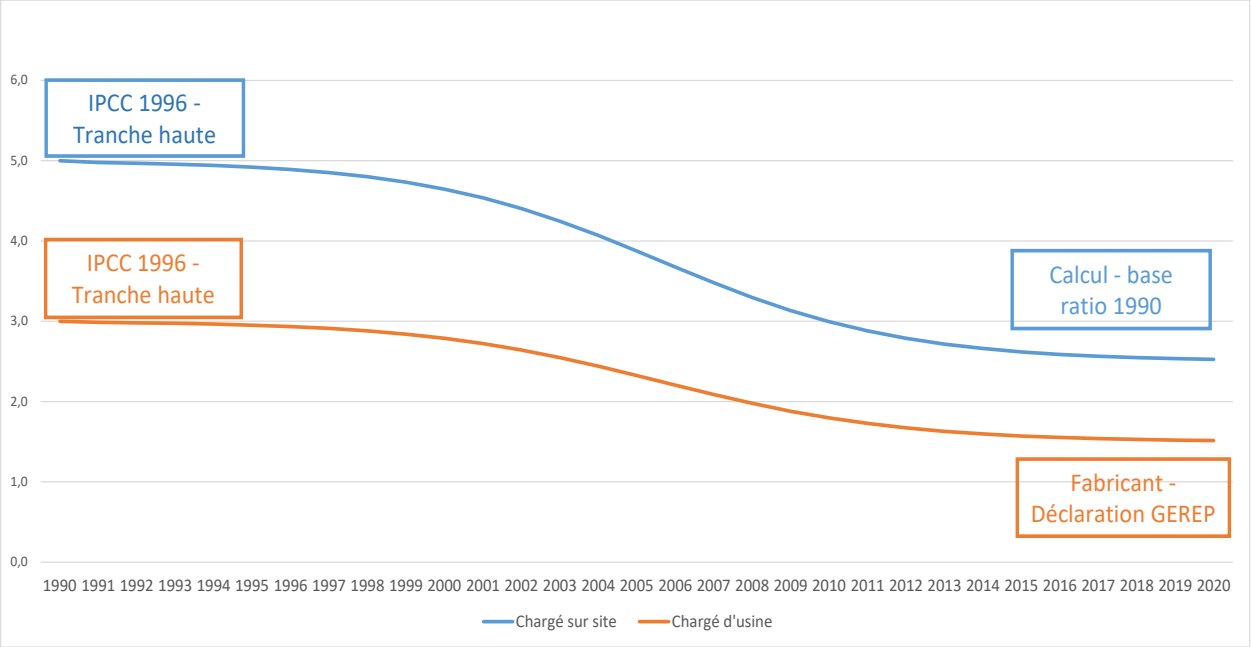
Pour estimer les facteurs d'émission à la charge, on distingue si les équipements sont chargés d'usine ou sont chargés sur site.

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 %. 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 courbes ont été consolidées pour l'inventaire 2020 et sont prolongées tendanciellement chaque année.

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 [1411] (entre 0,2 et 1 %).

Figure 126 : 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 %) [1411]. 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 %) [1411].

Chillers

Pour tous les équipements, le facteur d'émission utilisé en 1990 provient de la tranche haute des Lignes directrices du GIEC 2006 (15 %) [1411]. 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 [207]. 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 %) [1411].

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 %) [1411]. 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 [207]. Ces courbes d'évolution ont été établies sur la période 1990-2016 et la tendance est prolongée à chaque inventaire.

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 %) [1411] à l'exception des CET pour qui le même facteur d'émission que les équipements de réfrigération domestique est appliqué (0,01 %).

Figure 127 : Facteur d'émission pendant la durée de vie – climatisation fixe (en %)

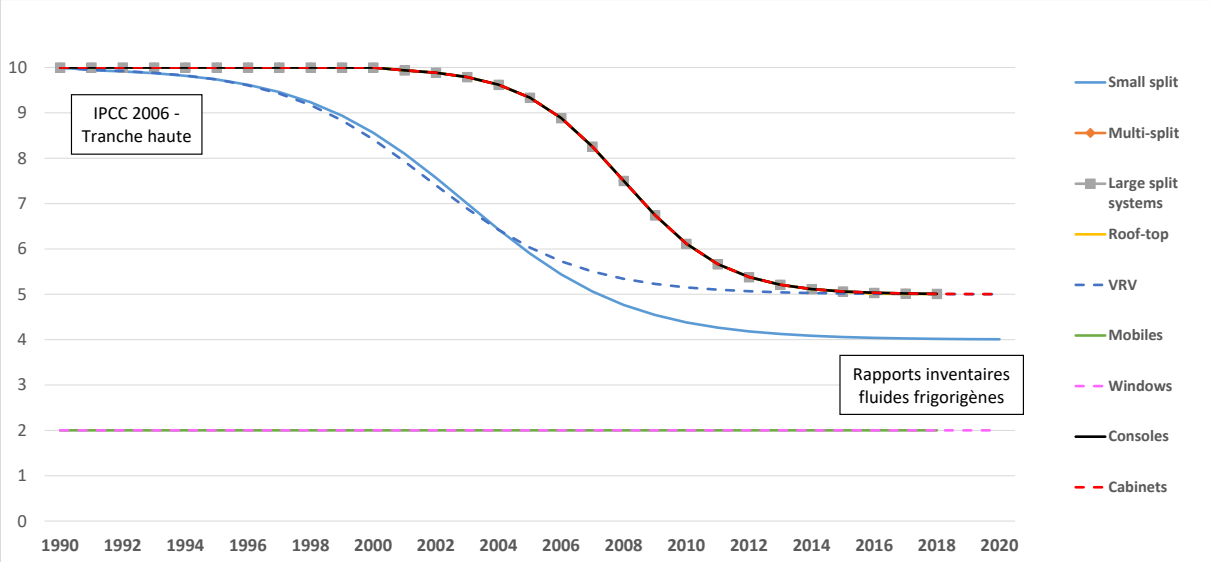


Figure 128 : Facteur d'émission pendant la durée de vie – chillers (en %)

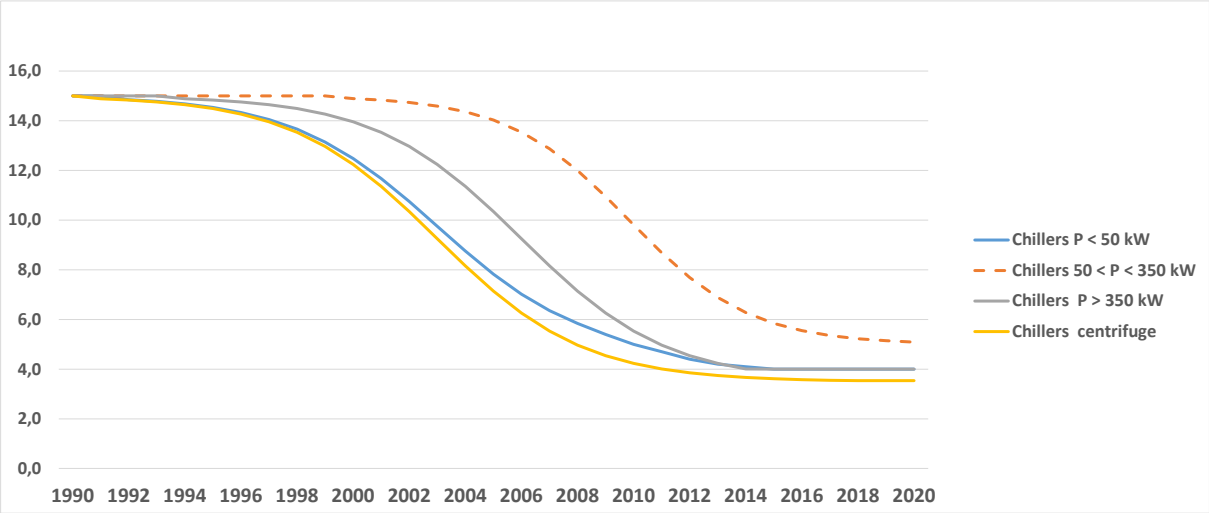
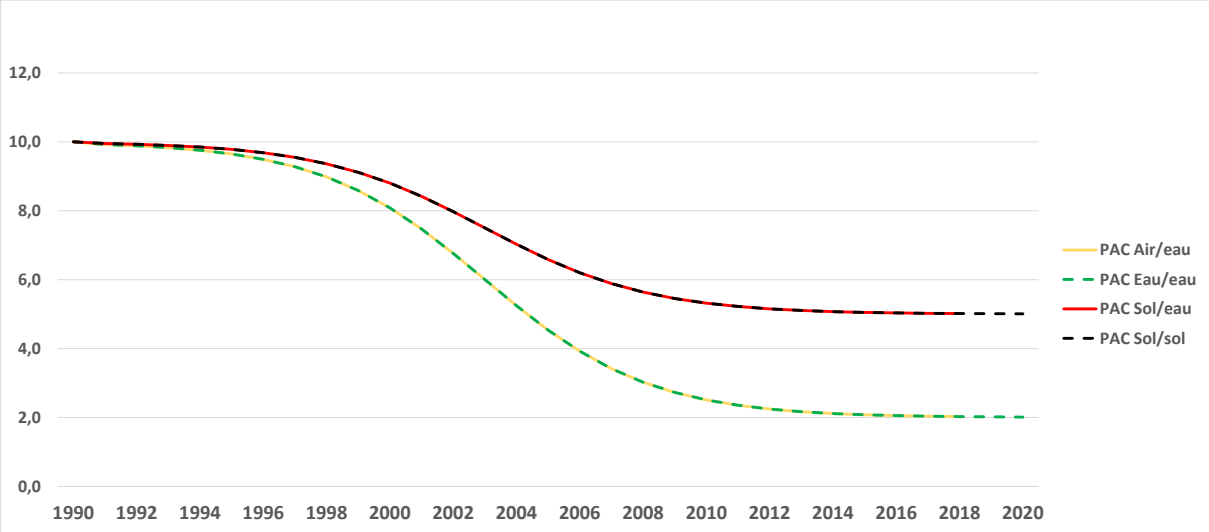


Figure 129 : Facteur d'émission pendant la durée de vie – pompe à chaleur (en %)



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.

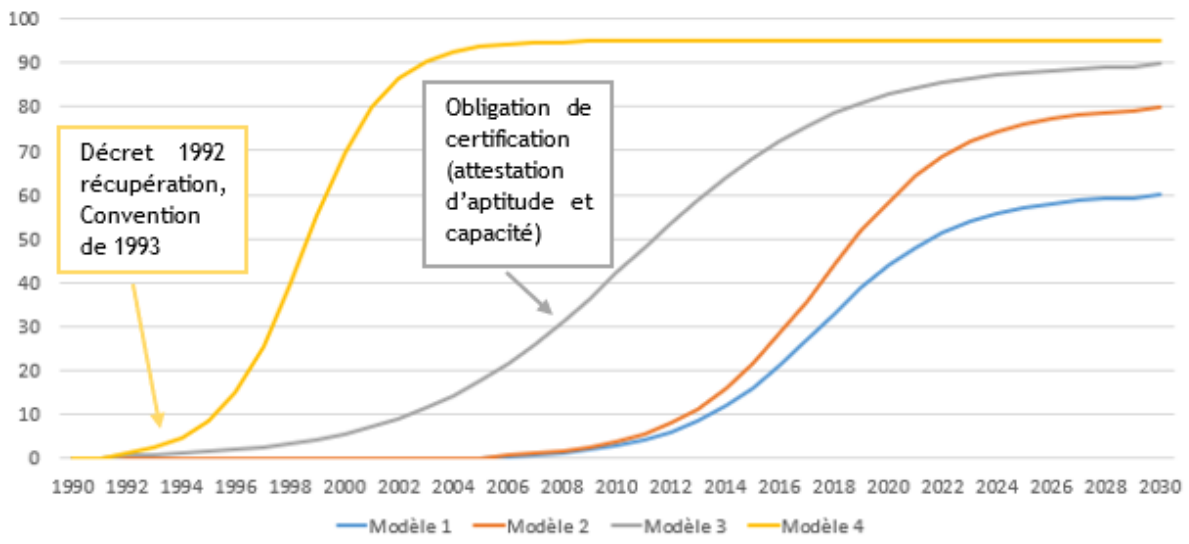
Hypothèses de ce modèle :

- 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 Windows PAC	Consoles Cabinets Small split Multi-split	Chillers VRV Roof-top Large split system	Compresseur centrifuge

Figure 130 : 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 m².
- Les supermarchés regroupent les commerces de détail non spécialisés à prédominance alimentaire en magasin d'une surface de vente comprises entre 400 m² à 2 500 m².
- 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 Supérettes Surgelés	Alimentation générale Bars, Hôtels, Restaurants Boulangeries pâtisseries Boucheries charcuteries Poissonneries Primeurs 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 145 : 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/m² 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

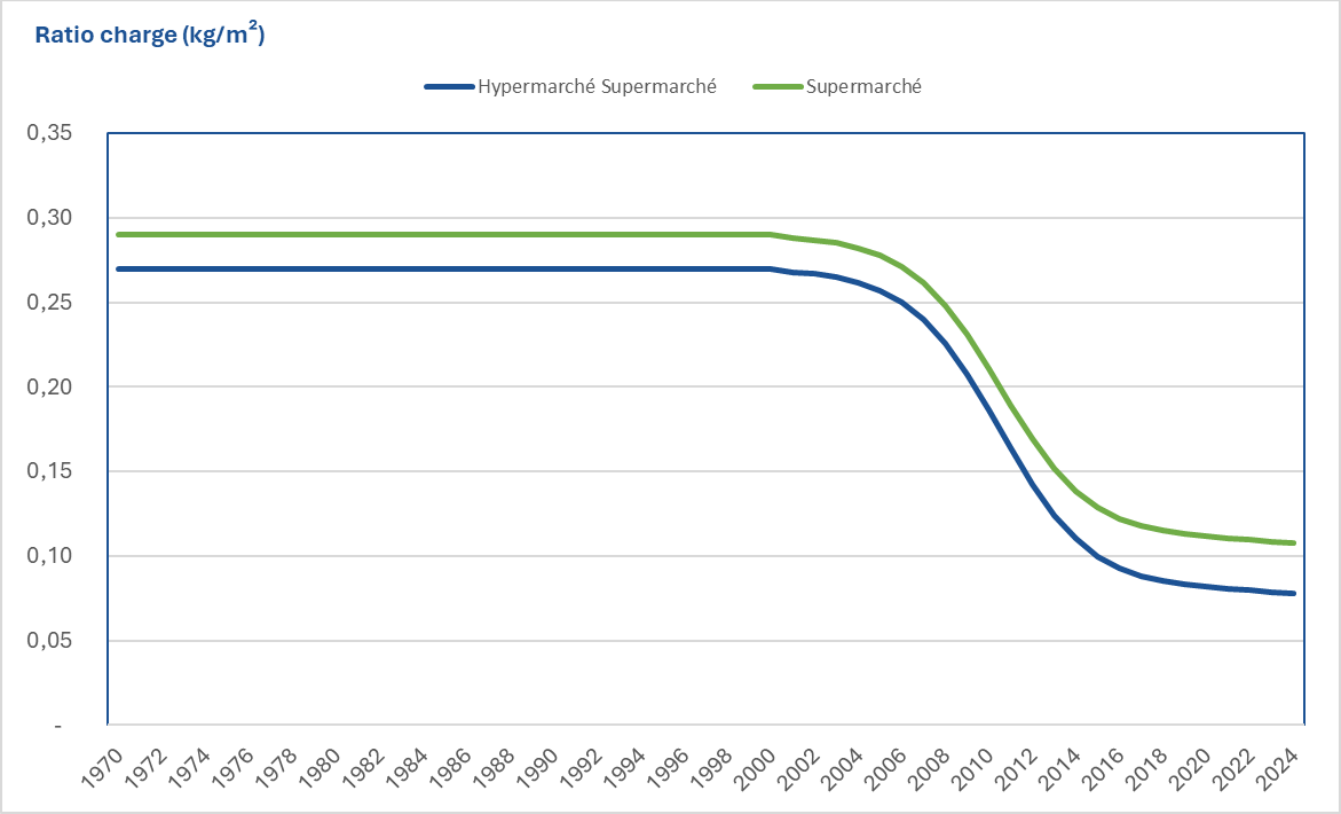
Faute de données, on estime que la production des groupes hermétiques sur le territoire national est équivalente au marché. Pour les autres sous-secteurs, la production n'est pas utile au calcul.

Charge

Pour les hypermarchés et supermarchés, la charge de fluide est exprimée en kg de fluide frigorigène par unité de surface (kg/m²). 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 131 – Ratios de charge surfaciques en super et hypermarchés

Charge de référence (kg/m²)	Avant 2000	2024
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 146 : Niveaux de charge de référence des équipements du secteur du froid commercial (en kg)

Charge de référence (kg)	Avant 2000	2024
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

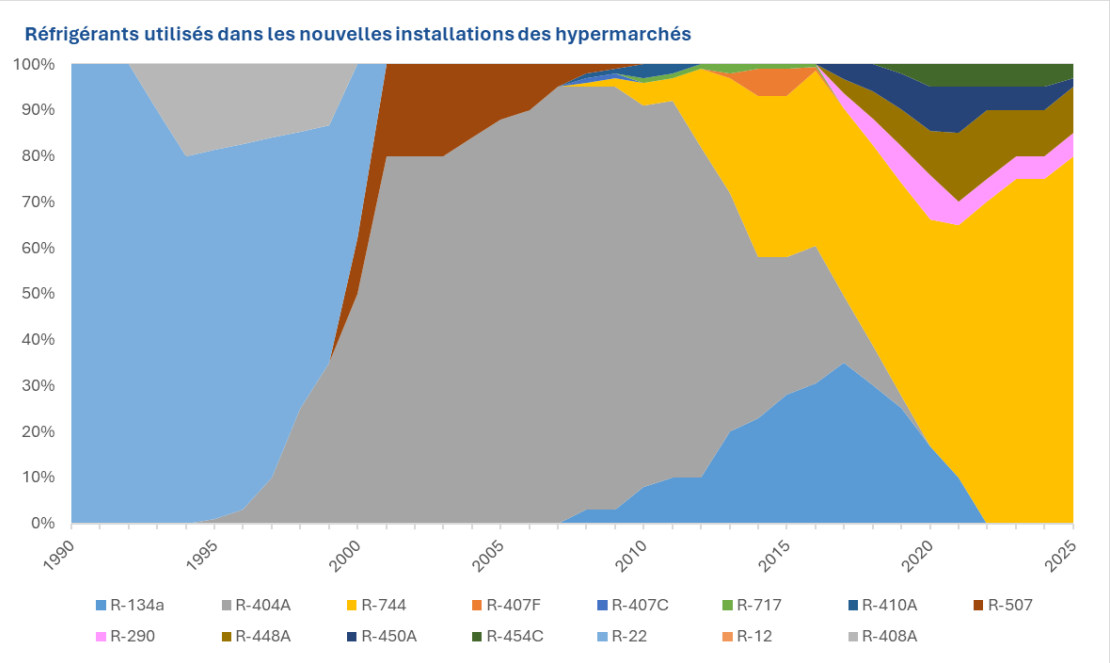
Au cours du temps, plusieurs réfrigérants ont été utilisés dans les commerces alimentaires de détail : les substances appauvrissant la couche d'ozone (CFC et HCFC) ont été progressivement remplacées par les HFC, le R-404A ayant été le plus utilisé. Ces derniers ayant des valeurs de PRG élevées, ils sont 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. Une enquête réalisée auprès de l'AFCE a montré que les hypothèses de décroissance d'usage et de retrofits d'installations au R-404A avait été trop optimistes et que la banque résiduelle de R-404A en 2024-2025 était entre 30 et 50% de la banque des installations de super et hypermarchés. Les hypothèses ont été corrigées de façon à se rapprocher de résultats (figures 27 et 28).

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 132 – Evolution des fluides frigorigènes utilisés en hypermarchés



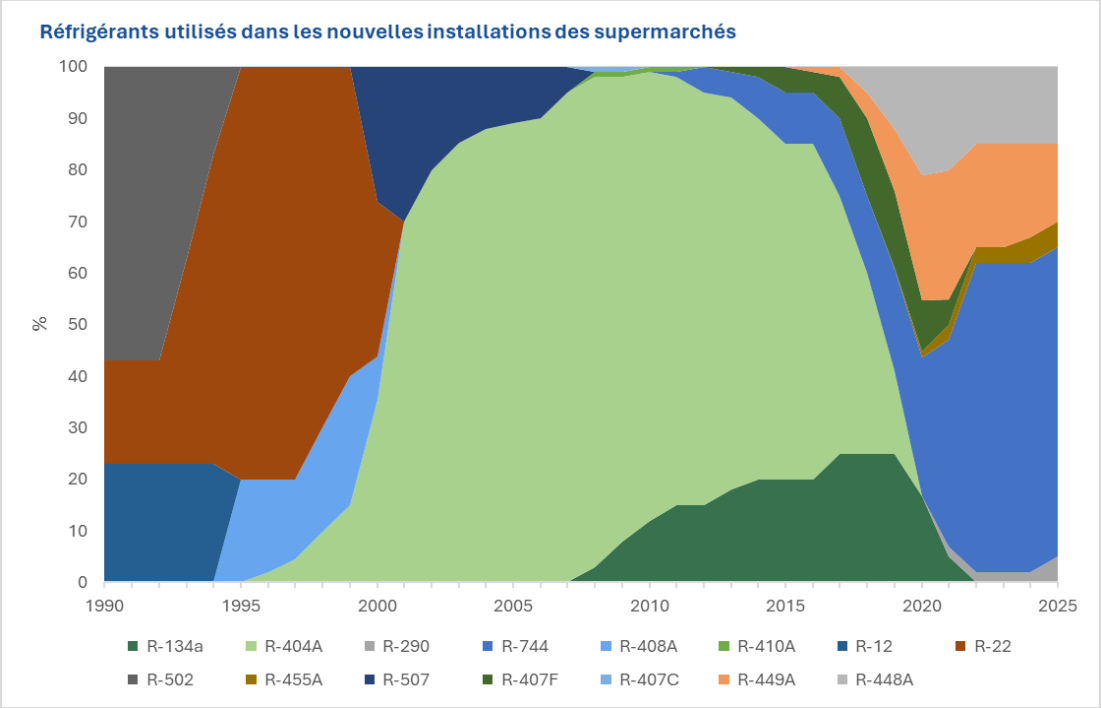
Supermarchés

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 de Mines-ParisTech [207], une communication de l'European Partnership for Energy and the Environment [1116] et l'évolution de la réglementation européenne.

Figure 133 – 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

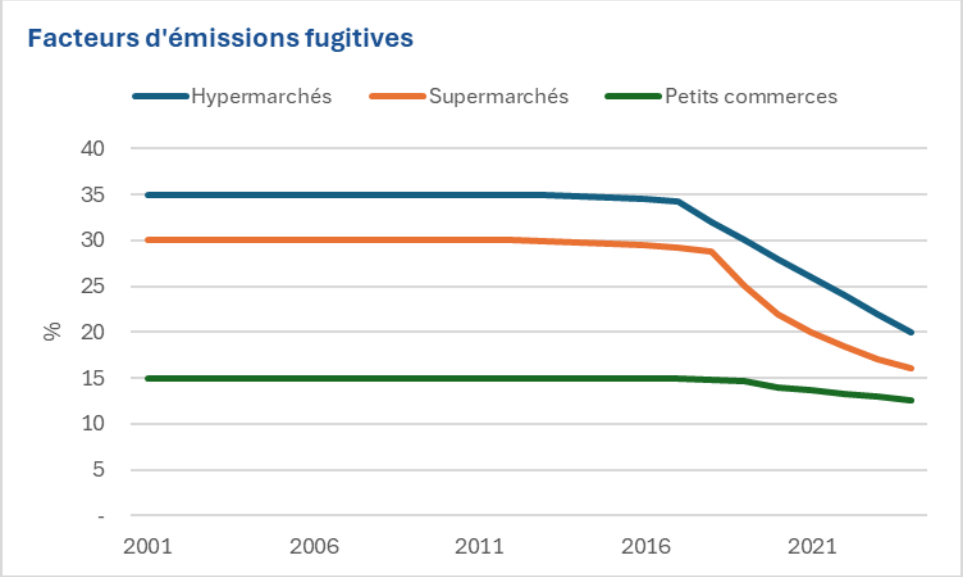
Le règlement F-Gas et la mise en place du phasedown imposant des quantités limitées de HFC, en tonnes de CO2 équivalentes sur le marché européen, ont conduit à une pénurie des HFC de PRG élevé tels que le R-404A fortement utilisé en froid commercial. Cela a conduit à une surveillance accrue des fuites 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 134 : 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 [207], 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 20 % en 2024 [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 16 % en 2024 [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 2024 est ainsi estimé à 12%.

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.

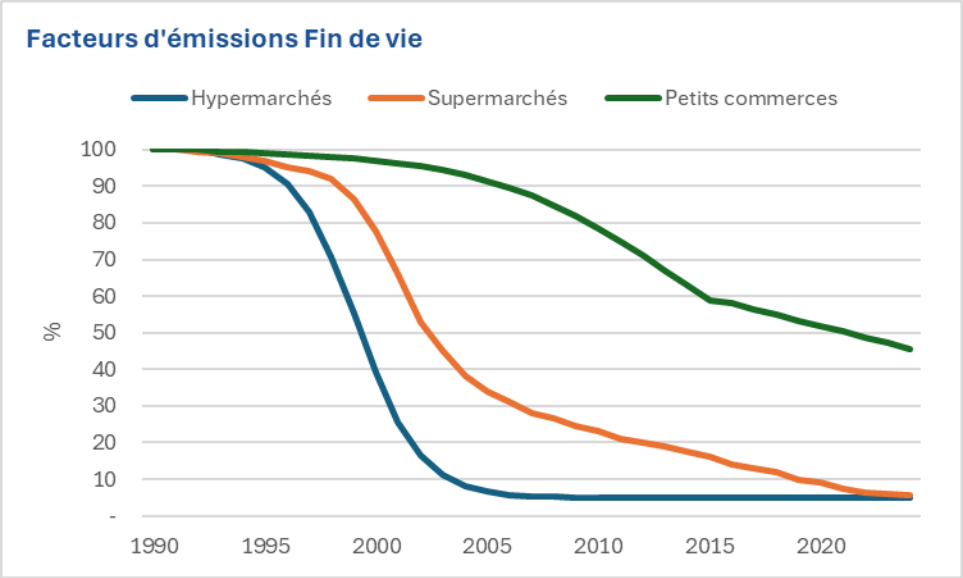
Concernant le secteur du froid commercial, ces facteurs ont été estimés avec un modèle de courbe en S comportant une année de démarrage de la récupération et une année asymptotique projetée en 2035.

Pour les hypermarchés et supermarchés, on considère une récupération nulle jusqu'en 1992 et un maximum d'efficacité de récupération supposé de 95 % en 2035 (soit un facteur d'émission de 5%). En 2024, 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 2024, on estime ainsi l'efficacité de récupération à 54 %.

Enfin, pour les groupes hermétiques, on estime une récupération nulle jusqu'en 2000 et un maximum supposé à 40 % en 2035. En 2024, on estime l'efficacité de récupération à près de 35 %.

Figure 135 : Facteurs d'émission fin de vie en froid commercial (en %)

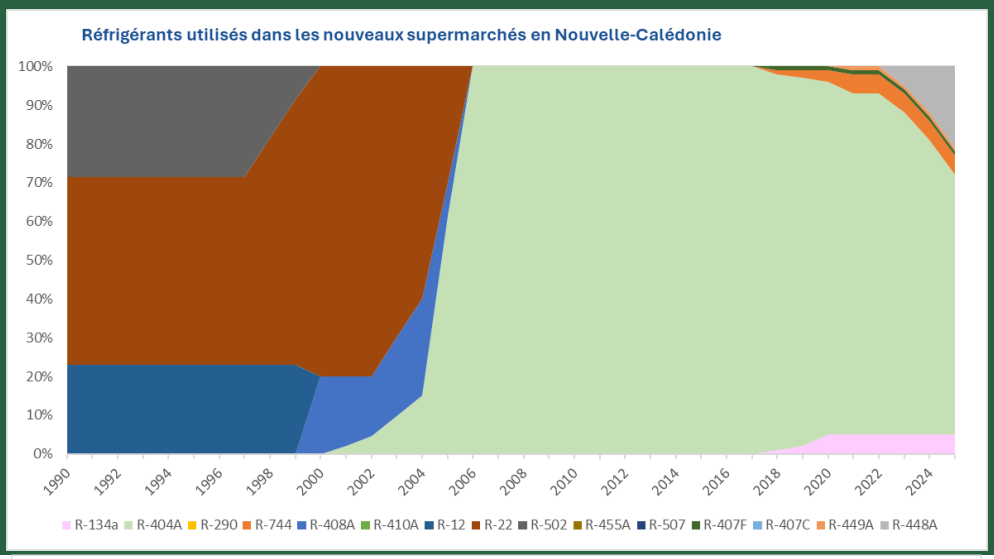


4.7.3 Cas des territoires d'outre-mer

Les hypothèses présentées dans les parties précédentes concernaient la France hexagonale. Dans le cas des territoires d'outre-mer, il s'agit de la même méthode de calcul mais certaines parties sont agrégées et certaines hypothèses sont estimées en fonction de celles de la France hexagonale.

Pour des questions de temps de calcul et de construction de bases de données, une première approche a consisté à construire une base de données commune aux territoires d'outre-mer hors UE, une autre pour les territoires dans l'UE, de réaliser un calcul avec la méthode présentée ci-avant et de décomposer les résultats par territoire au prorata des populations de chaque groupe. Les hypothèses de chaque base de données ont été consolidées à partir des statistiques disponibles et, pour l'évolution des fluides frigorigènes et des facteurs d'émissions, en prenant un décalage temporel de 15 ans avec la France hexagonale (exemples sur les figures ci-dessous).

Figure 136 – **Comparaison de l'évolution des réfrigérants entre la France hexagonale et les territoires d'Outre-mer (exemple du secteur des supermarchés en Nouvelle-Calédonie)**



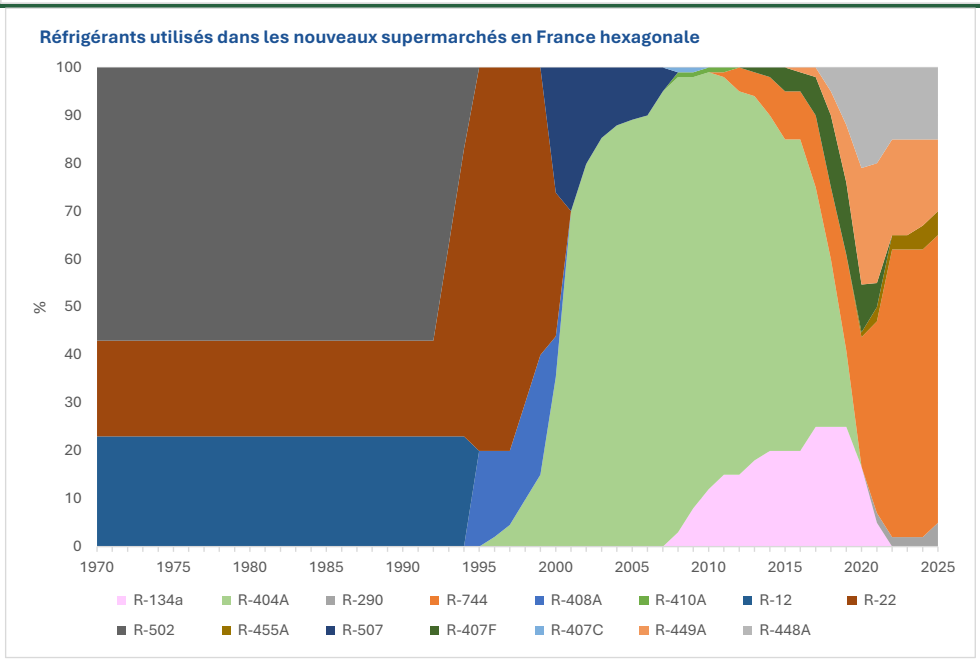
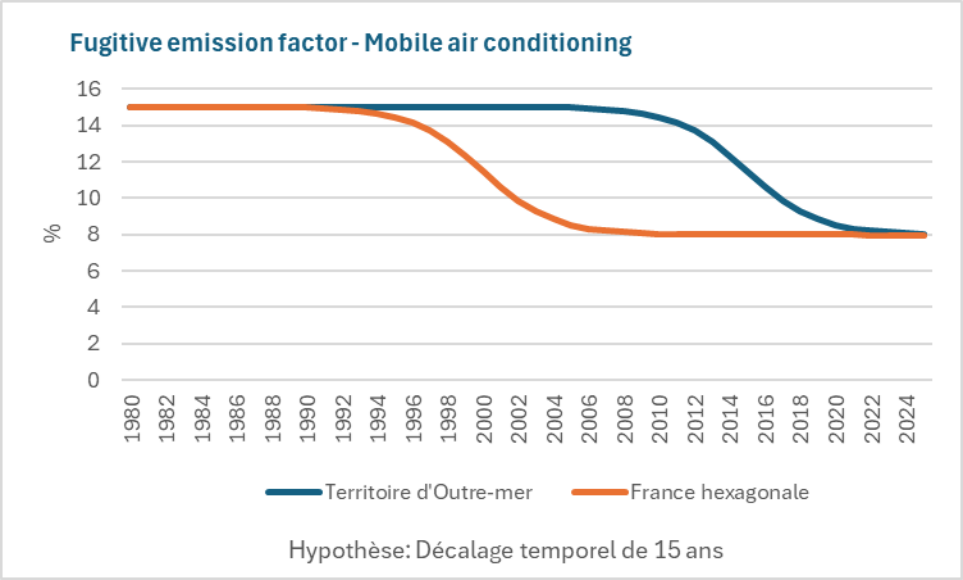


Figure 137 – Estimation des taux d'émissions dans les territoires d'Outre-mer à partir des hypothèses de la France hexagonale. Exemple des facteurs d'émissions fugitifs pour le secteur de la climatisation automobile.



Cette approche a été utilisée dans les études d'inventaire réalisées par Mines-ParisTech [207] jusqu'en 2017. A partir de 2018, les émissions des années suivantes ont été estimées par territoire, tendanciellement, en fonction de la tendance historique et en tenant compte des évolutions réglementaires et des transitions d'utilisation de fluides frigorigènes.

Depuis l'inventaire 2023, des bases de données sont progressivement construites par territoire de façon à calculer les émissions de chaque territoire avec le même outil que celui utilisé pour la France hexagonale. Pour l'inventaire 2023, les émissions calculées avec l'outil sont :

- Celles de la nouvelle Calédonie à la suite d'une étude réalisée en partenariat avec la DIMENC [1412]. La base de données a été renseignée pour l'ensemble des sous-secteurs, avec dans la plupart des cas des données d'activité disponibles. Les évolutions des fluides frigorigènes par secteur ont été estimées à partir de celles de la France hexagonale avec un décalage temporel de 10 ans, ou adaptée dans le cas de données disponibles. De même l'évolution des facteurs d'émission a été basée sur celle de la France hexagonale avec un décalage temporel.
- Celles des autres territoires d'outre mer hors UE ont été, à partir de cet inventaire, établies à partir des résultats de la Nouvelle-Calédonie au prorata de la population, étant donné la mise à jour réalisée pour ce territoire. Dans le cas de la Polynésie, pour laquelle une étude dédiée avait été réalisée en 2020, les résultats obtenus sur la période 2010-2017 ont été conservés.
- Celles de la Guadeloupe à la suite d'un premier cas test dans lequel la base de la Nouvelle-Calédonie a été dupliquée et les données de marchés établies au prorata des populations des deux territoires. Les secteurs de la climatisation automobile et des bus ont été calculées avec des données du territoire, celles-ci étant disponibles sur le site du CCFA [1413], ainsi que celles des super et hypermarchés, après des recherches spécifiques au territoire.
- Les émissions du secteur de la climatisation automobile pour chacun des territoires d'outre-mer dans l'UE étant donné que les immatriculations sont disponibles sur le site du CCFA et que les autres paramètres sont communs à tous les territoires : l'évolution des fluides frigorigènes utilisés dans les véhicules neufs dépendant de la réglementation et de choix des constructeurs automobiles au niveau mondial ; les charges nominales étant normalisées au niveau mondial. La prise en compte des véhicules d'occasion reste à étudier et les émissions de ce secteur pourraient être plus élevées.

- Pour les autres secteurs et territoires, les émissions sont toujours calculées à partir des résultats de l'inventaire 2018 et présentent une forte incertitude. Les améliorations seront poursuivies au cours des prochains inventaires ou à l'occasion d'études dédiées.

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 fermées

Dans ce type de mousse, les HFC sont émis à la production, à l'usage et en fin de vie.

➔ SPF

La production de polyuréthane projeté (SPF) 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-eaux

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 HFO-1234ze. Le GIFAM (Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'équipements Ménager) recense les ventes de chauffe-eaux 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-eaux 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 contenu 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].

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.

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 147 : 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 148 : 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 ERelE in 2012	special report supplied by ERelE in 2012	Plant specific	Plant specific
Data	- Number of water heaters - Type of foam blowing agents - Amount of foam blowing agent by appliance	- Production of SPF in France - Type of foam blowing agents	- Type of foam blowing agents - Amount of HFC used - Export vs import	- Type of foam blowing agents - Number of refrigerated truck produced - Amount of foam blowing agent by appliance	- Type of foam blowing agents - Amount of HFC contained in cans - Number of cans sold	- Type of foam blowing agents - Amount of foam blowing agent used	- Type of foam blowing agents - 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 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 (96 %) et le HFC-23 à hauteur de 4 % [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 l'hexagone 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 hexagonale est estimé annuellement par le plus important producteur français d'aérosols pharmaceutiques [521]. 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.

Pour les deux types d'aérosol, les émissions des territoires d'Outre-mer sont estimées en fonction des émissions de l'hexagone 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]. Depuis 2016, le procédé utilisant du HFC-134a a été arrêté. Il n'y a plus d'émission à partir de cette date.

4.7.4 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.

4.7.5 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).

4.7.6 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	2023	2024
Ancien	kt CO2e	0	284	3 375	9 274	14 566	15 156	15 419	15 462	15 401	15 129	14 784	14 146	13 183	11 865	10 545	9 348	8 347	7 609	0
Nouveau	kt CO2e	0	350	3 258	9 140	14 473	15 172	15 571	15 716	15 746	15 584	15 378	14 837	13 957	12 745	11 461	10 368	9 441	8 621	7 764
Différence	kt CO2e	0	+66	-117	-134	-93	+16	+152	+254	+345	+456	+594	+691	+774	+880	+916	+1 020	+1 094	+1 012	+7 764
	%	-	+23%	-3%	-1%	-1%	+0%	+1%	+2%	+2%	+3%	+4%	+5%	+6%	+7%	+8,68%	+11%	+13%	+13%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.F.1

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, point important des recalculs : les hypothèses des fluides frigorigènes utilisés en froid commercial. A la suite de communications de la profession [1402], il a été constaté que la banque calculée de R-404A dans le froid commercial était trop peu élevée par rapport aux retours de terrain de la grande distribution et que les annonces d'arrêt d'utilisation et de conversions d'installations n'avaient pas été réellement appliquées. Par conséquent, les hypothèses ont été revues, à la fois pour ralentir la transition du R-404A vers les alternatives à plus bas PRG(R-448A, R-449A puis R-455A, incluant également les parts des alternatives non fluorées) à partir de 2015 ainsi que le rythme des retrofits d'installations à partir de 2016 ; De plus, quelques ajustements ont été réalisée pour ralentir également la transition du R-22 vers le R-404A dans les années 2000 de façon à se rapprocher de la banque réelle communiquée. Les hypothèses d'évolution des fluides frigorigènes utilisés et de rythme de retrofit corrigées sur l'historique et plus significativement depuis 2015 expliquent la majorité des recalculs (Impact maximum en 2022 : 929 kt CO2 eq.).

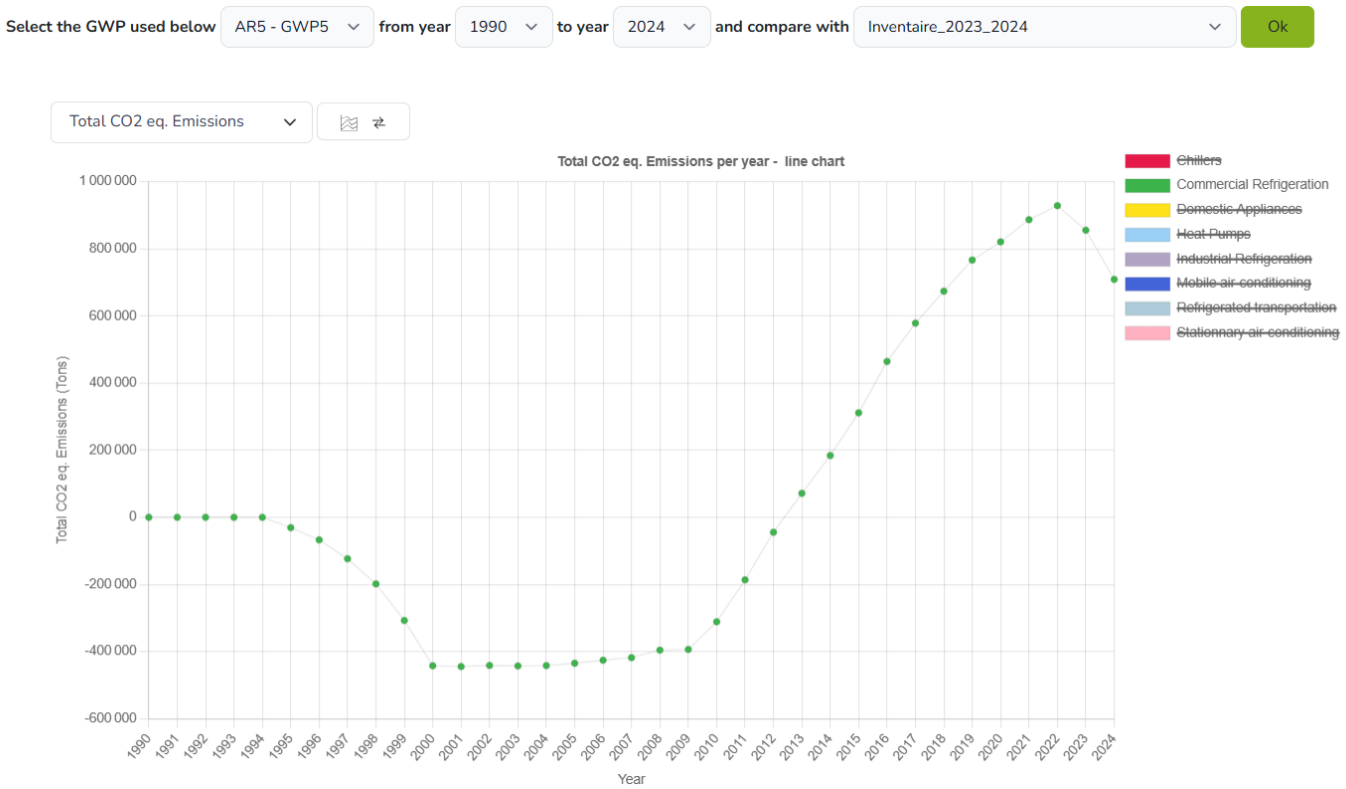


Figure 138 – Impact des corrections de l'évolution des fluides frigorigènes utilisés en froid commercial sur les émissions CO2 équivalentes de ce secteur par rapport à la précédente édition d'inventaire

Par ailleurs, dans les éditions d'inventaire depuis 2023, une attention particulière est donnée aux territoires d'outre-mer afin de pouvoir les modéliser de façon indépendante, avec des bases de données dédiées. C'est le cas désormais de la Nouvelle-Calédonie et de la Guadeloupe, sachant que pour ce dernier territoire, une étude dédiée est en cours de finalisation afin de préciser les hypothèses et donnera lieu à des ajustements pour le prochain inventaire.

Raison et justification

Recherche d'exhaustivité, amélioration des facteurs d'émission fugitifs, homogénéisation de l'approche sur les territoires d'outre-mer .

4.7.7 Améliorations envisagées

<u>Air conditionné et réfrigération (2F1) :</u>

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.

Les corrections portées sur l'évolution du R-404A en froid commercial pourront donner lieu encore à des ajustements lors du prochain inventaire selon les retours de la profession à la publication des résultats de l'inventaire 2024.

Enfin, il est prévu de poursuivre les améliorations sur l'estimation des émissions des territoires d'outre-mer et de progressivement modéliser chaque territoire de façon autonome avec une base de données dédiées et en utilisant le même outil de calcul que celui utilisé pour la métropole.

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 2024, 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 2024, 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

Le 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 2006.

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 hexagonale 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,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 149 : 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 l'hexagone.

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 l'hexagone 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

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	2024
Ancien	kt CO2e	1645	1988	1543	1333	1178	1144	1194	1105	965	966	996	1043	982	896	837	804	709	601	0
Nouveau	kt CO2e	1634	1974	1560	1341	1178	1144	1194	1105	965	966	996	1043	982	895	830	797	702	595	513
Différence	kt CO2e	-12	-15	+17	+8,3	0	0	+0,027	0	0	0	+0,0000	-0,53	-0,53	-0,53	-6,4	-6,3	-6,2	-6,4	+513
	%	-0,7%	-0,7%	1,1%	0,6%	0%	0%	0,0%	0%	0%	0%	0,0%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,8%	-0,8%	-0,9%	-1,1%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2.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 significatif, pas de modification méthodologique.

Raison et justification

Exactitude de l'inventaire

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	2022 Review draft report / I.16	(Ongoing) SF6 emissions from recycling/regeneration in France have been calculated and reported in CRF Table2(II)B-Hs1 (CRF 2B9). More information have been added in the NIR to describe methodology used. SF6 emissions from destruction still need to be refined and included (even if it represents very low 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 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 draft report / I.17	Not resolved. This recommendation has not been implemented. More time and data will be necessary to implement this recommendation. Issue to continue to investigate.

À la suite de la revue CCNUCC de 2025, 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	IPPU (4.I.3, 2025) 2.G.1 Electrical equipment - SF6	The TERT noted that in its GHG inventory, in para 4.8.6, that the Party reported that specific AD and EF to estimate SF6 emissions from electrical equipment have not yet been collected to estimate SF6 emissions from electrical equipment in its overseas territories and that it currently uses AD and EF from metropolitan France. The explanation given is that the AD and EF applied is based on electricity production in mainland France and that these AD and EF were applied to the overseas territories for estimating SF6 emissions given that a more accurate method is not currently available. The TERT noted that the electrical grid in the overseas territories may not be comparable to that of metropolitan France, owing to the different contexts of overseas territories and mainland France regarding age, capacities and type of electric power systems, maintenance practices. During the review, the Party reported that it needs more time and data to implement this CS approach for the overseas territories. The TERT recommends that the Party reports on the SF6 emissions of this category 2.G.1 for its overseas territories included in France EU based on CS AD and EF data. And if this is not possible, The TERT recommends that the Party reports on the progress made to implement this recommendation.	2025 Draft BTR review report	Not yet implemented, but we noted the need to report on the progress made to implement this recommendation in the NIR. New data / statistics on Overseas territories require time for developpement/implementation.

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 2024.

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_2capté) 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

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

2H : 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 au retour au sol des résidus de culture : N_2O, NH_3
- 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.

<u>A noter</u> : 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 ($N\text{-}N_2O$) au N_2O
- 17/14 : facteur de conversion, correspondant au ratio des masses molaires, pour passer du ($N\text{-}NH_3$) au NH_3
- 46/14 : facteur de conversion, correspondant au ratio des masses molaires, pour passer du (N-NO) au NO_2

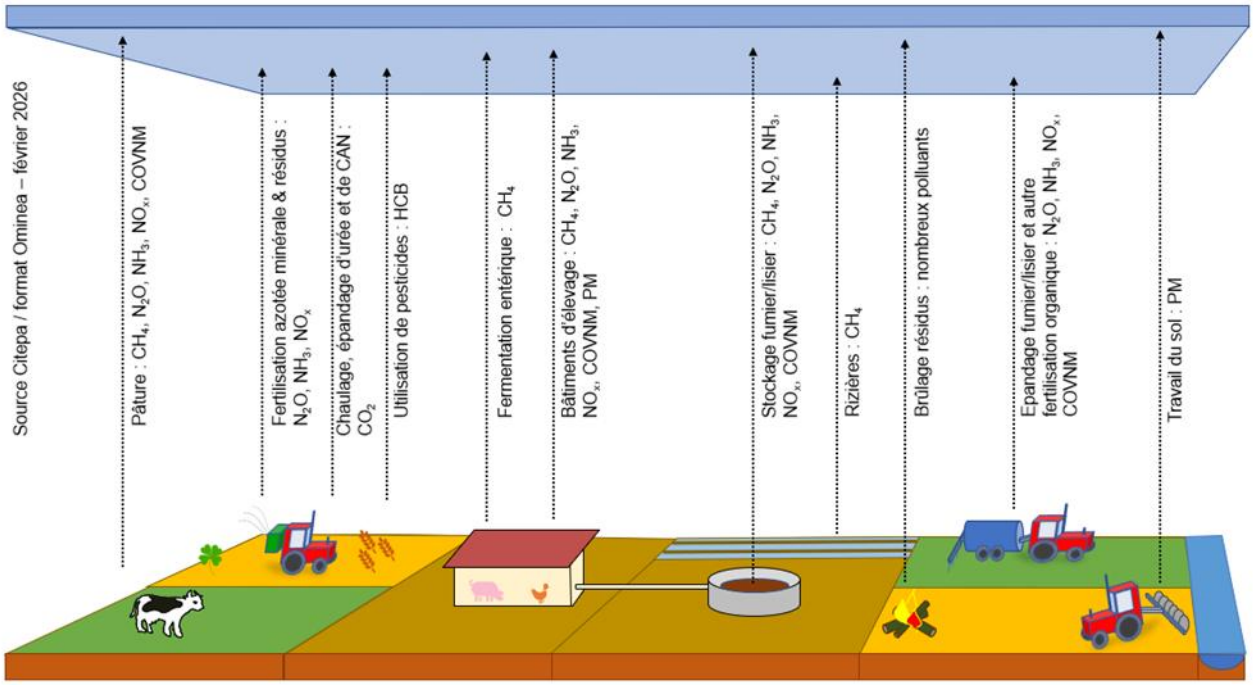


Figure 139: Postes d'émission et polluants associés en agriculture

Tableau 150 : Émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture

AGRICULTURE (périmètre France UE)			Secteurs-d.xlsx	
	1990		2024	
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%	2 243	0,8%
CH_4	53 734	66%	43 008	71%
N_2O	26 682	50%	21 519	77%
HFC	0	0%	0	0%
PFC	0	0%	0	0%
SF_6	0	0%	0	0%
NF_3	0	0%	0	0%
CO_2e	82 321	15%	66 770	18%

source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

L'agriculture est un émetteur prépondérant pour le N_2O et le CH_4 avec, en 2024, respectivement 77 % et 71 % 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.

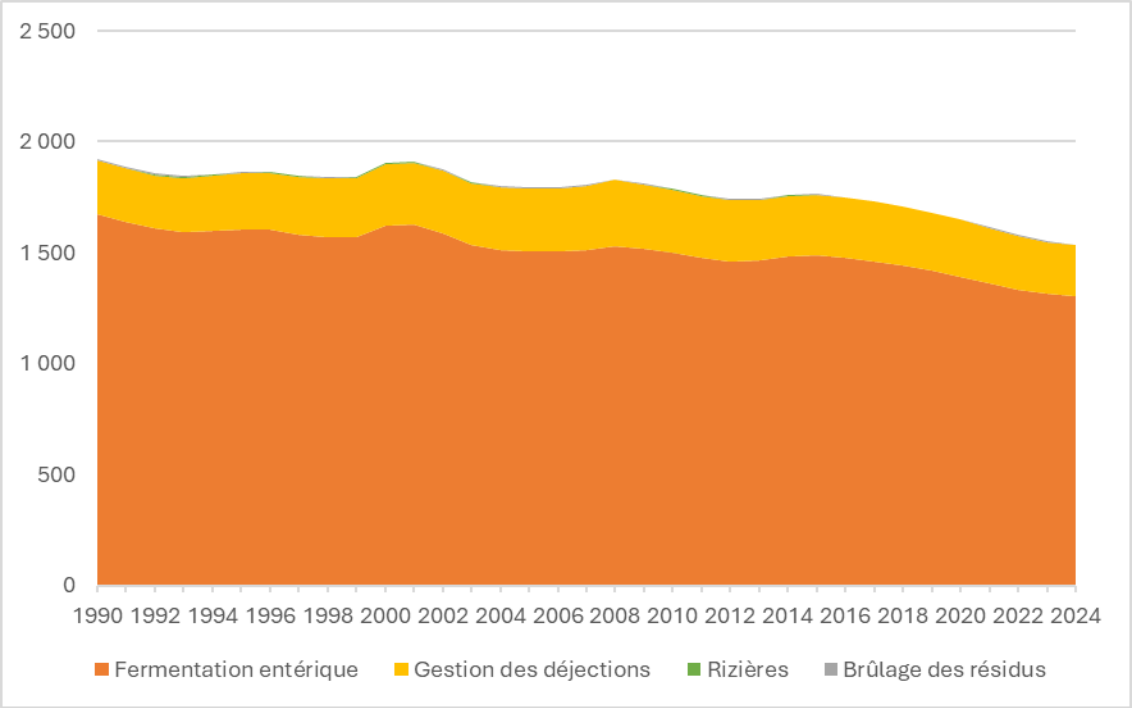


Figure 140: Evolution des émissions de CH_4 (kt) du secteur agricole - Périmètre UE

Les émissions de CH_4 ont diminué de 20 % sur la période 1990-2024 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.

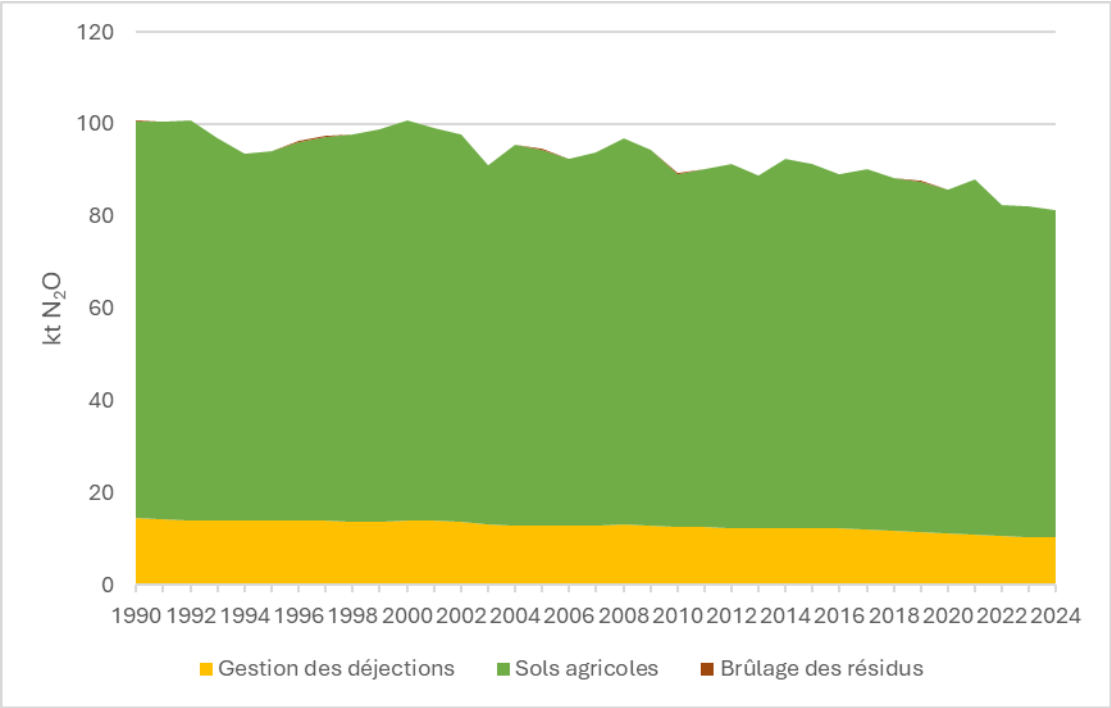


Figure 141 : Evolution des émissions de N_2O (kt) du secteur agricole - Périmètre UE

La baisse des émissions constatée entre 1990 et 2024 pour le N_2O (- 19 %) 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 151 : Substances pour lesquelles le secteur CRT 3 est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	GES	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
3A – Enteric Fermentation	CH_4	2ème	10,0 %	11ème	2,5 %
3B – Manure management	CH_4	14ème	1,7 %	26ème	0,9 %
3B – Manure management	N_2O	25ème	0,7 %	-	-
3D1 - Direct N_2O emissions from managed soils	N_2O	4ème	3,9 %	20ème	1,2 %
3D2 - Indirect N_2O emissions from managed soils	N_2O	17ème	1,2 %	43ème	0,4 %
3H – Urea application	CO_2	42ème	0,3 %	55ème	0,3 %

5.1.1.1 Système PACRETE pour l'élevage

L'estimation précise des émissions liées à l'élevage est un travail complexe qui nécessite 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 France hexagonale. Les explications suivantes font partie intégrante de ce système.

A noter : le système PACRETE est utilisé uniquement pour la France hexagonale. Pour l'Outre-mer, les méthodes appliquées sont les mêmes mais les calculs sont effectués directement sous Excel.

5.1.1.2 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 en France hexagonale est passé de 22 à 13 (dont la Corse). Le tableau ci-dessous présente les correspondances entre anciennes et nouvelles régions.

Tableau 152 : 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.

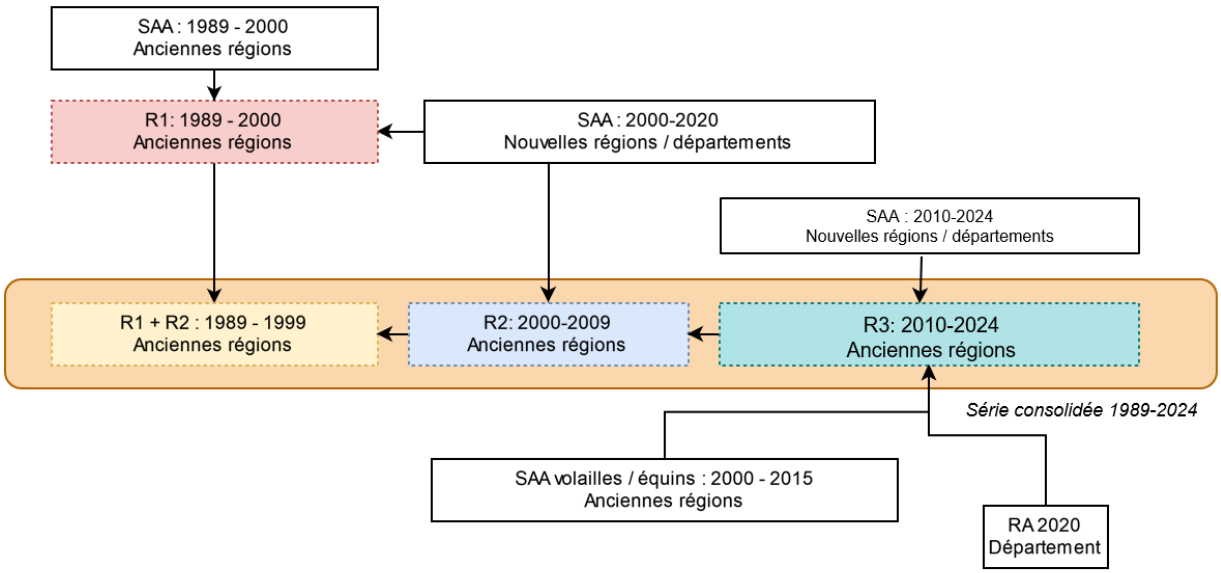
5.1.1.3 Cheptels

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.

5.1.1.3.1 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 142 : 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 2024 (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.

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.

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 en France hexagonale 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 2024. 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.

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 2024 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 29,0 %, et celui passé au stade porcs à l'engrais supérieur à 30kg varie entre 56,0 % et 61,3 %.

Tableau 153 : 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	13,6%	25,3%	61,1%		
	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 2024

Source Citepa / format Ominea février 2026 Graph_Ominea_2026.xlsx/Repart_Porcins

Tableau 154 : Evolution du cheptel porcin détaillée par catégories fines (France hexagonale 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	1 526 499	2 941 717	6 874 467	869 502	11 994
2023	1 492 143	2 810 501	6 733 977	859 262	11 018
2024	1 493 402	2 765 738	6 689 164	844 140	10 682

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 155 : 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

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 156 : Cheptels bovins, porcins, ovins et caprins au périmètre UE sur la période d'inventaire

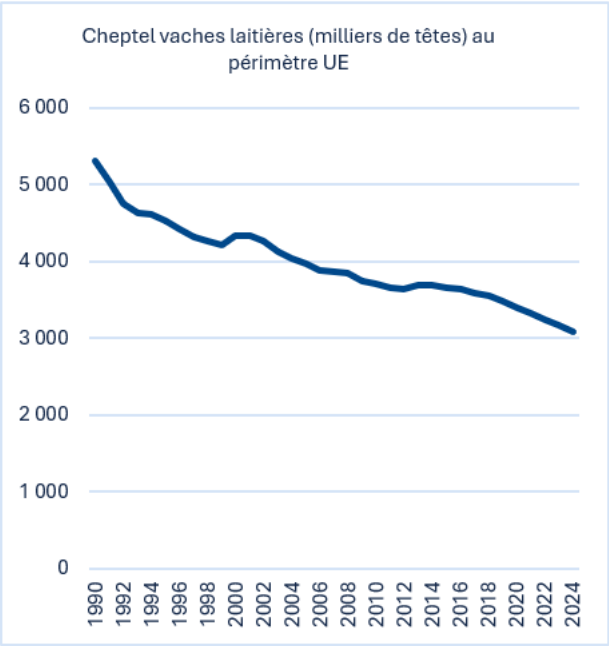
	Vaches laitières	Autres bovins	Truies	Autres porcins	Ovins	Caprins
1990	5 309 879	16 392 078	1 233 586	11 205 908	11 384 979	1 348 132
1991	5 030 532	16 363 884	1 270 961	11 332 781	11 017 582	1 335 258
1992	4 762 044	16 171 161	1 340 987	11 870 591	10 733 663	1 301 735
1993	4 639 292	16 083 874	1 351 460	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	6 681 521	1 378 366
2023	3 166 826	13 638 361	870 753	11 133 800	6 589 344	1 351 247
2024	3 075 963	13 380 966	855 733	11 046 195	6 507 662	1 360 847

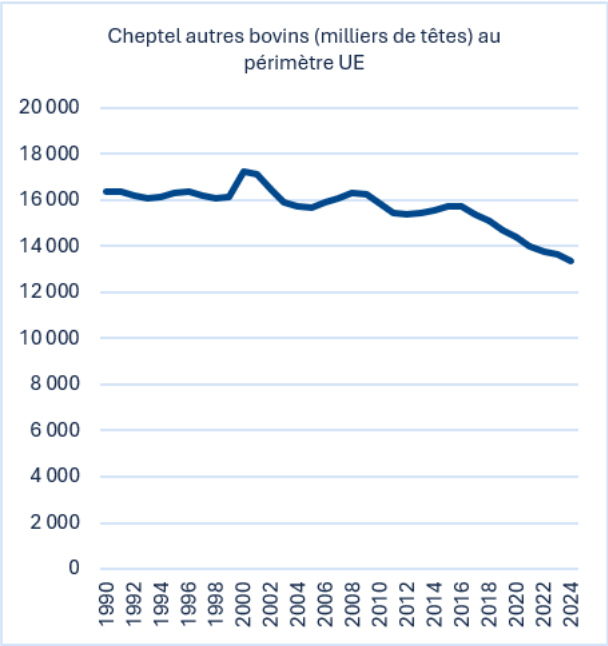
Tableau 157 : Cheptels équins, volailles et lapines au périmètre UE sur la période d'inventaire

	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	84 444 575	154 663 007	57 726 661	427 000
2021	291 613	21 141	87 336 575	151 352 007	54 124 661	415 000
2022	296 408	20 908	87 527 575	143 705 007	43 226 661	391 000
2023	291 286	20 460	84 451 575	136 231 007	45 345 661	378 000
2024	289 587	19 855	84 803 575	144 003 007	49 665 661	362 000

5.1.1.3.2 Evolution des cheptels sur la période

Figure 143 : Evolution des cheptels bovins au périmètre UE

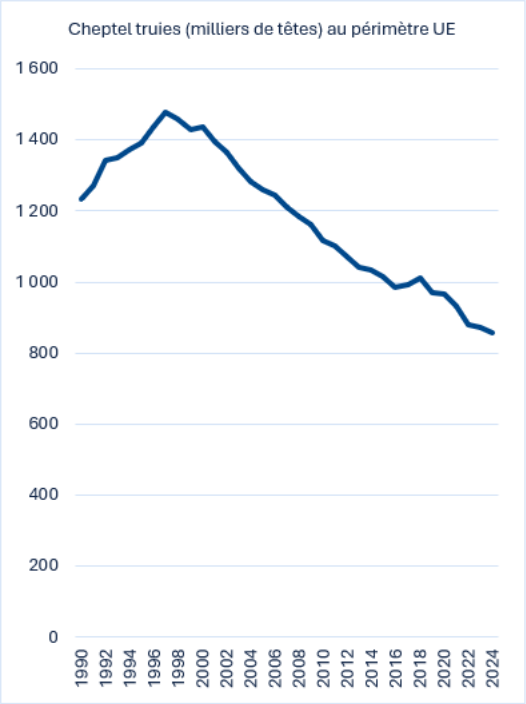


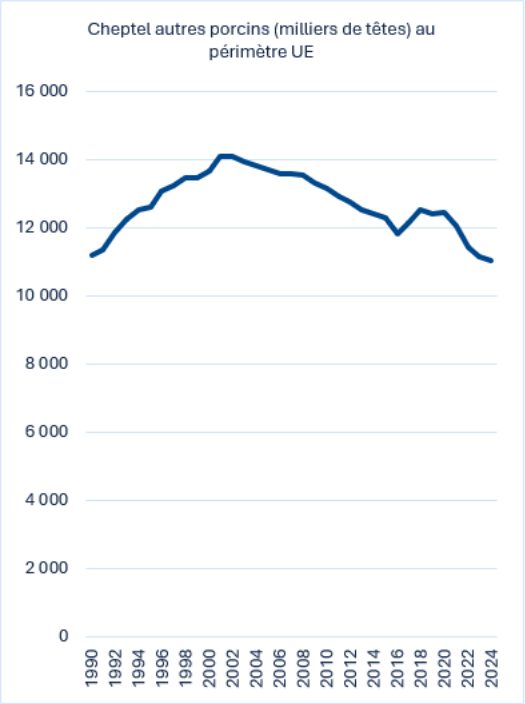


Depuis la mise en place des quotas laitiers en 1984, le cheptel des vaches laitières en France est en diminution progressive. Le troupeau est en revanche de plus en plus performant, ce qui permet le maintien de la production de lait sur la période. D'après l'Idele, la suppression des quotas laitiers 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.

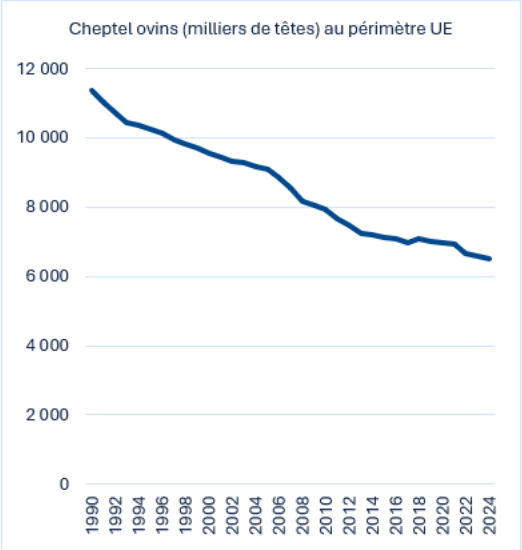
Figure 144 : Evolution des cheptels porcins au périmètre UE

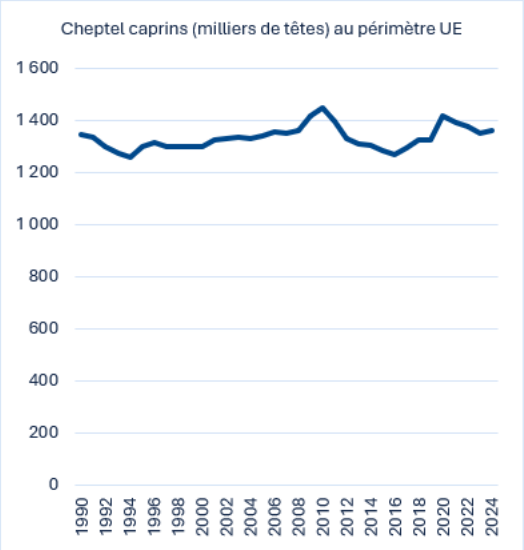




Le début de la période est marqué par une production porcine dynamique, avec la création de nombreux élevages modernes et performants. Cette forte croissance s'est vue stoppée à la fin des années 90, en lien d'après l'IFIP, avec le développement des mesures de protection de l'environnement décidées dans 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. En 2024, on assiste à une très légère reprise de la production porcine. Avec des carcasses plus lourdes le cheptel continue de se replier par rapport à 2023.

Figure 145 : Evolution des cheptels ovins et caprins au périmètre UE

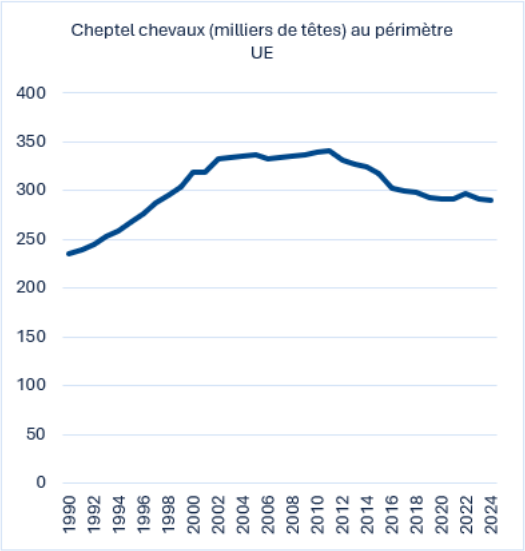


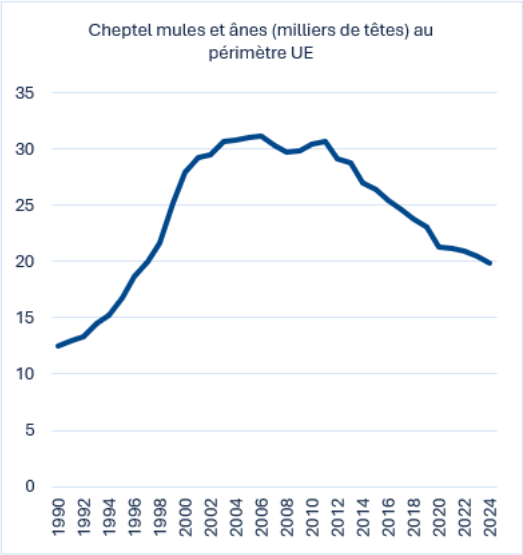


Le cheptel ovin n'a cessé de baisser depuis 1990. Cette baisse peut s'expliquer par les crises sanitaires subies par la filière (fièvre aphteuse en Grande Bretagne en 2001 ; fièvre catarrhale ovine en 2008-2009), mais aussi par des facteurs économiques et climatiques (sécheresse en 2003 et en 2011 affectant 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).

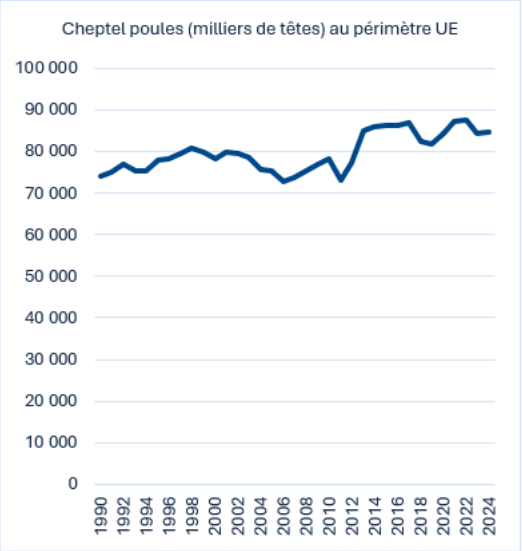
Figure 146 : Evolution des cheptels équins au périmètre UE





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 147 : Evolution des cheptels poules et poulets au périmètre UE



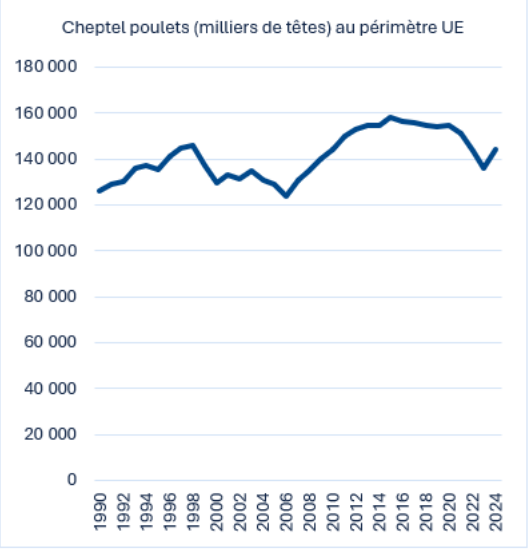
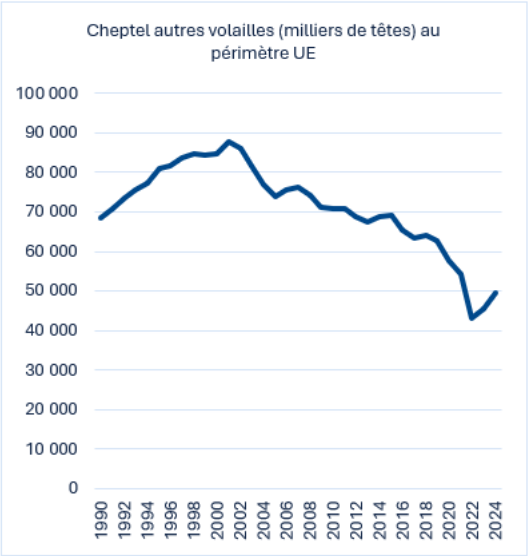
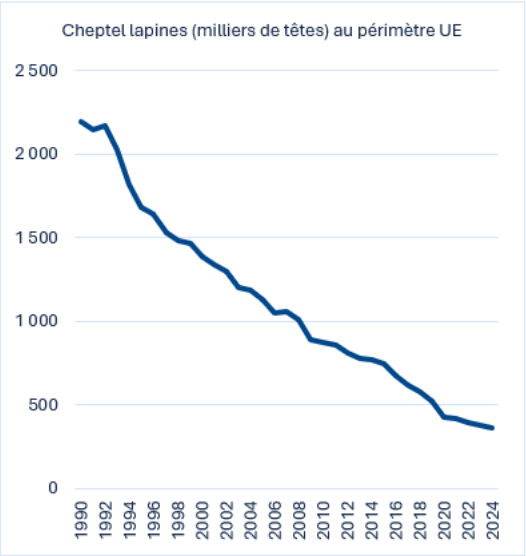


Figure 148 : Evolution des cheptels autres volailles et lapines au périmètre UE





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. En 2024, le cheptel ponte reste stable par rapport à 2023.

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 et 2023, 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 2024, le cheptel se redresse et retrouve des niveaux d'avant-crise, en lien avec une consommation dynamique.

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. En 2024 le cheptel de dinde progresse par rapport à 2023.

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 2023. 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 2024, 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.

5.1.1.4 Systèmes de gestion des déjections animales

5.1.1.4.1 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.

5.1.1.4.2 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) ».

5.1.1.4.3 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 France hexagonale sont utilisées.

Tableau 158 : 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%
	2024	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%
	2024	2,8%	1,1%	42,4%	11,4%	42,3%

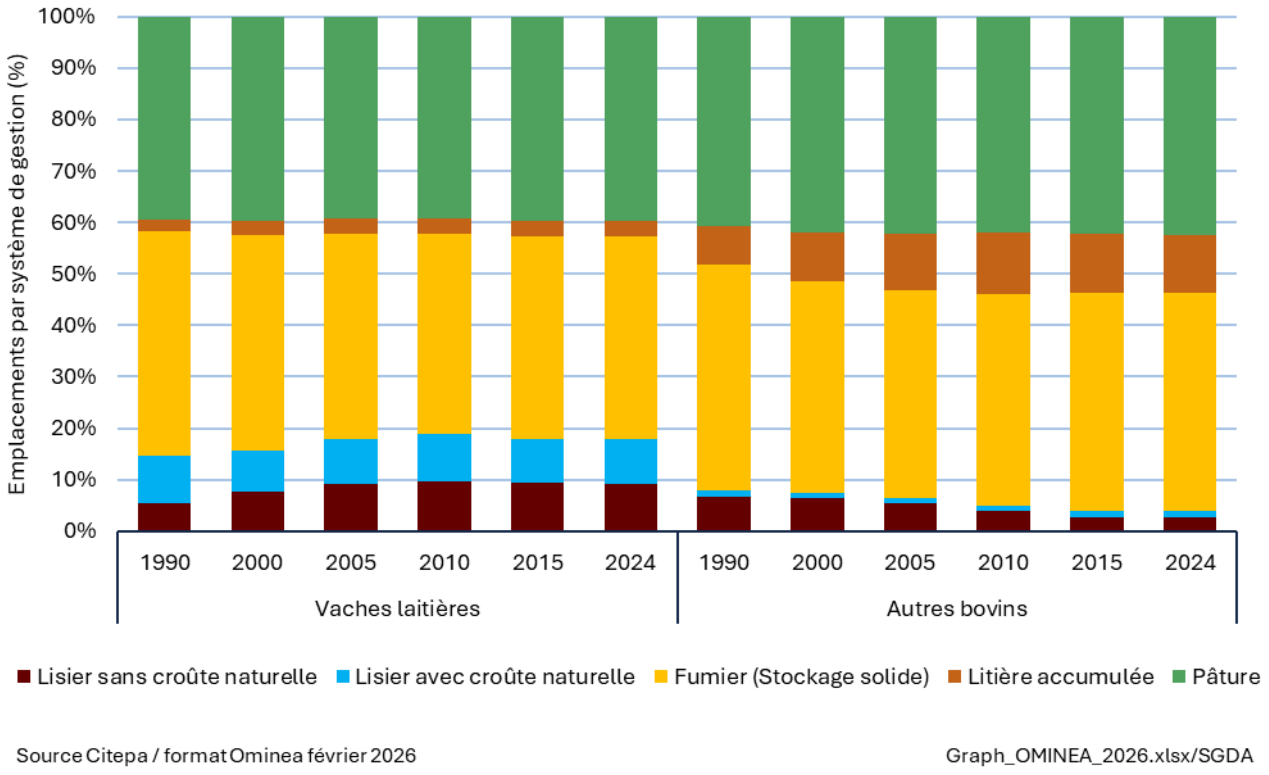


Figure 149 : Répartition entre types d'effluents pour les bovins (périmètre UE)

Pour les autres animaux, 3 systèmes de gestion des déjections sont distingués :

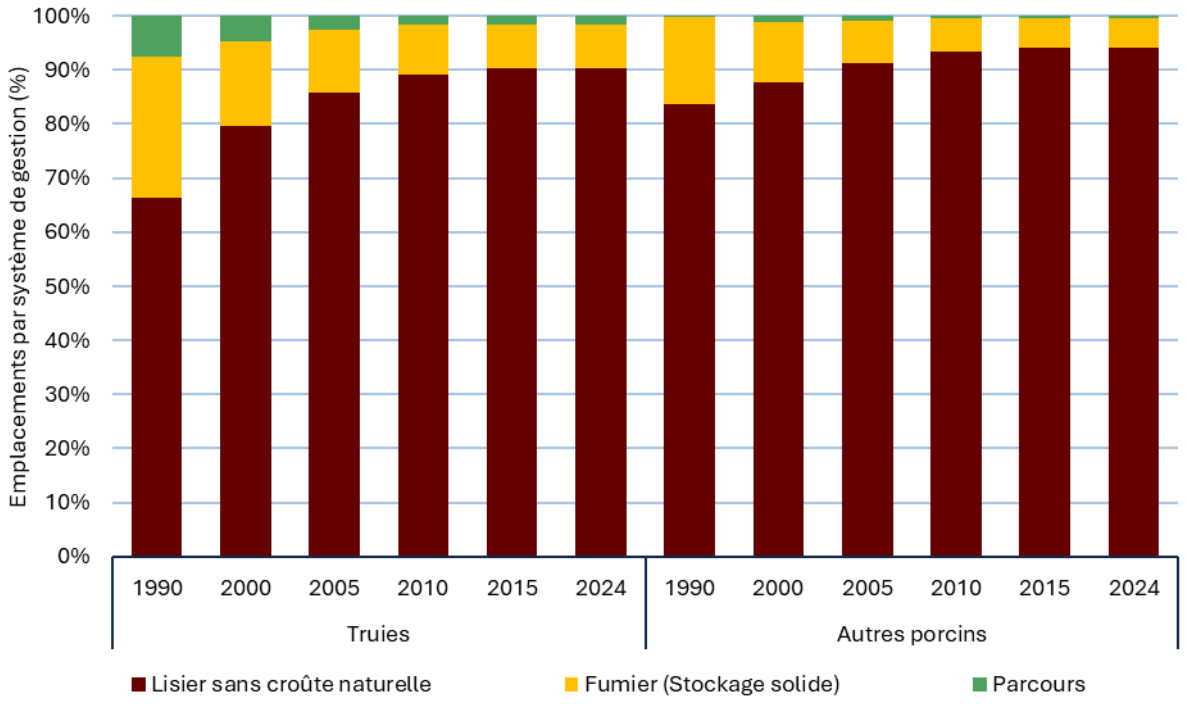
- Lisier sans croûte naturelle ;
- Fumier (stockage solide) ;
- Pâture/parcours.

Ne disposant pas de données spécifiques aux DOM COM, les données de la France hexagonale sont utilisées.

Tableau 159 : 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%
	2024	90,3%	8,0%	1,7%
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%
	2024	94,1%	5,3%	0,6%

Figure 150 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE)



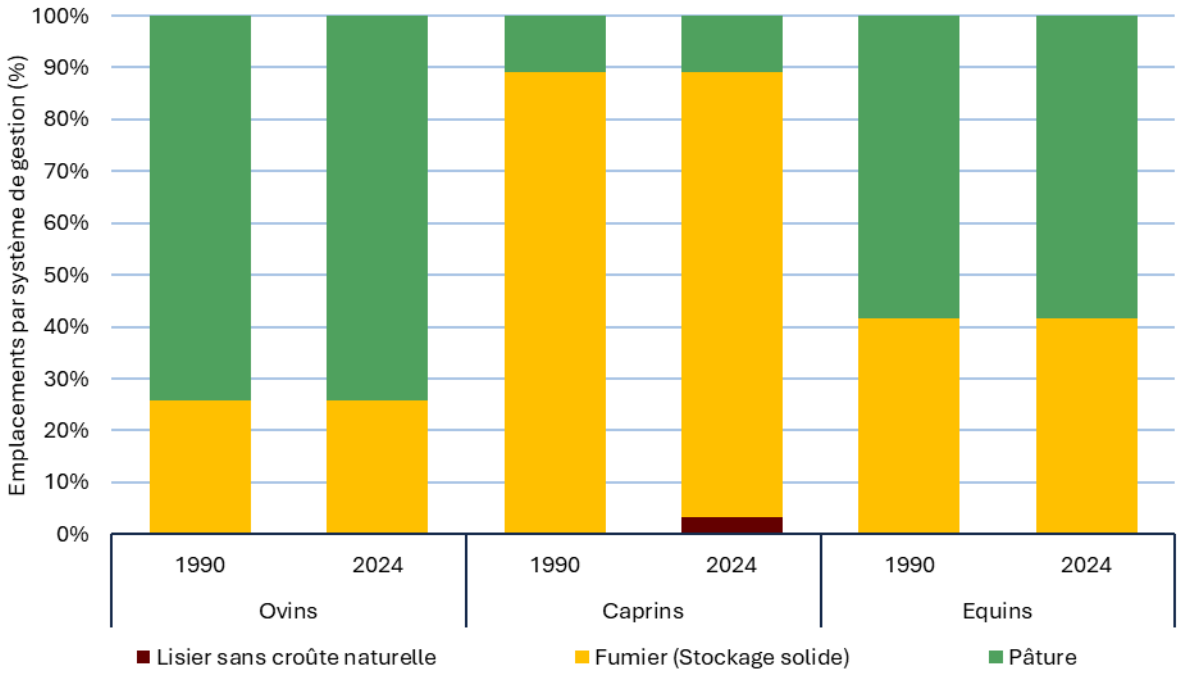
Source Citepa / format Ominea février 2026

Graph_OMINEA_2026.xlsx/SGDA

Tableau 160 : 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%
	2024	0,3%	25,4%	74,3%
Caprins	1990	0,0%	89,0%	11,0%
	2024	3,4%	85,7%	10,9%
Equins	1990	0,0%	41,7%	58,3%
	2024	0,0%	41,7%	58,3%

Figure 151 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE)

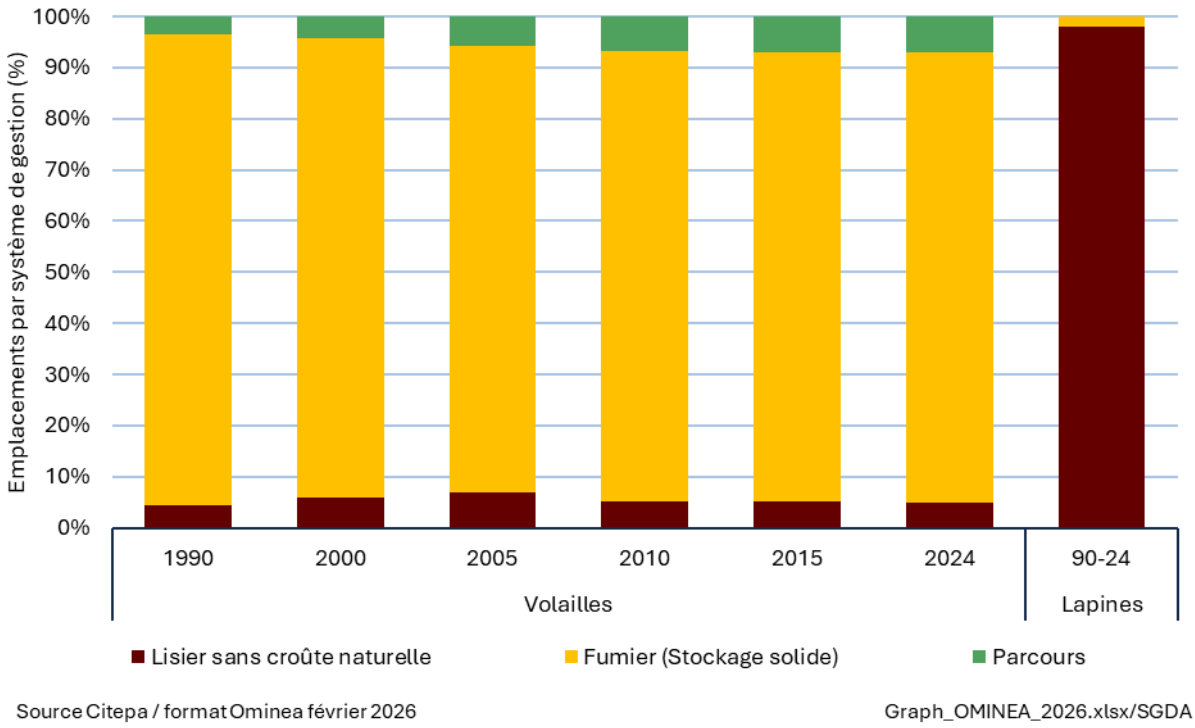


Source Citepa / format Ominea février 2026 Graph_OMINEA_2026.xlsx/SGDA

Tableau 161 : 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%
	2024	4,8%	88,1%	7,1%
Lapines	90-24	98,0%	2,0%	0,0%

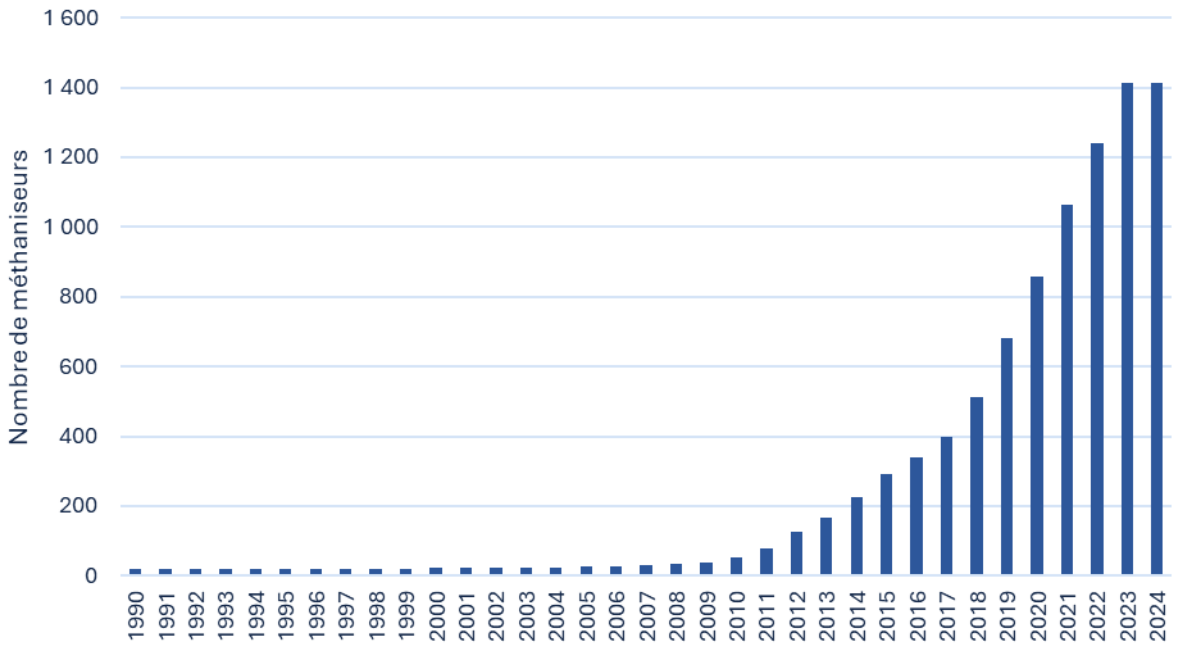
Figure 152 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE)



5.1.1.5 Méthanisation agricole

La méthanisation agricole se développe en France hexagonale de façon importante depuis les quinze dernières années (Figure 153). 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 1 412 méthaniseurs agricoles (à la ferme + centralisés) en 2023. Au moment de l'élaboration des inventaires, les nouveaux méthaniseurs installés en 2024 n'étaient pas disponibles sur le site SINOE et la valeur 2023 a été reconduite. 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 153 : Evolution du nombre de sites de méthanisation agricole en France



5.1.1.5.1 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 162 : Sources de données régionales mobilisées pour l'estimation des quantités d'intrants méthanisés

Région	Source	Année	Référence
Auvergne-Rhône-Alpes	DREAL AURA	2020 - 2023	[1236]
Bourgogne-Franche-Comté	ADEME	2019	[1158]
Bretagne	Association AILE	2021 - 2024	[1237]
Centre-Val de Loire	Citepa	2020	
Grand Est	Ademe	2020 - 2023	[1336]
Hauts de France	Citepa	2020	
Ile-de-France	AREC IDF	2022-2023	[1239]
Normandie	Chambre d'agriculture Normandie, Biomasse Normandie	2020, 2023, 2024	[1240], [1335]

Occitanie	Citepa	2020	
PACA	Citepa	2020	
Pays de la Loire	Association AILE, DREAL PDL	2019 - 2024	[1159], [1241]
Nouvelle-Aquitaine	AREC NA	2017-2021, 2023	[1168]

Une ration d'un méthaniseur moyen est donc établie à l'échelle régionale avant d'obtenir une ration nationale (Figure 154 & Figure 155). 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 1412 méthaniseurs agricoles en activité valorisant 20,8 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 154. Estimation des quantités d'intrants alimentant les méthaniseurs agricoles en France. Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME…

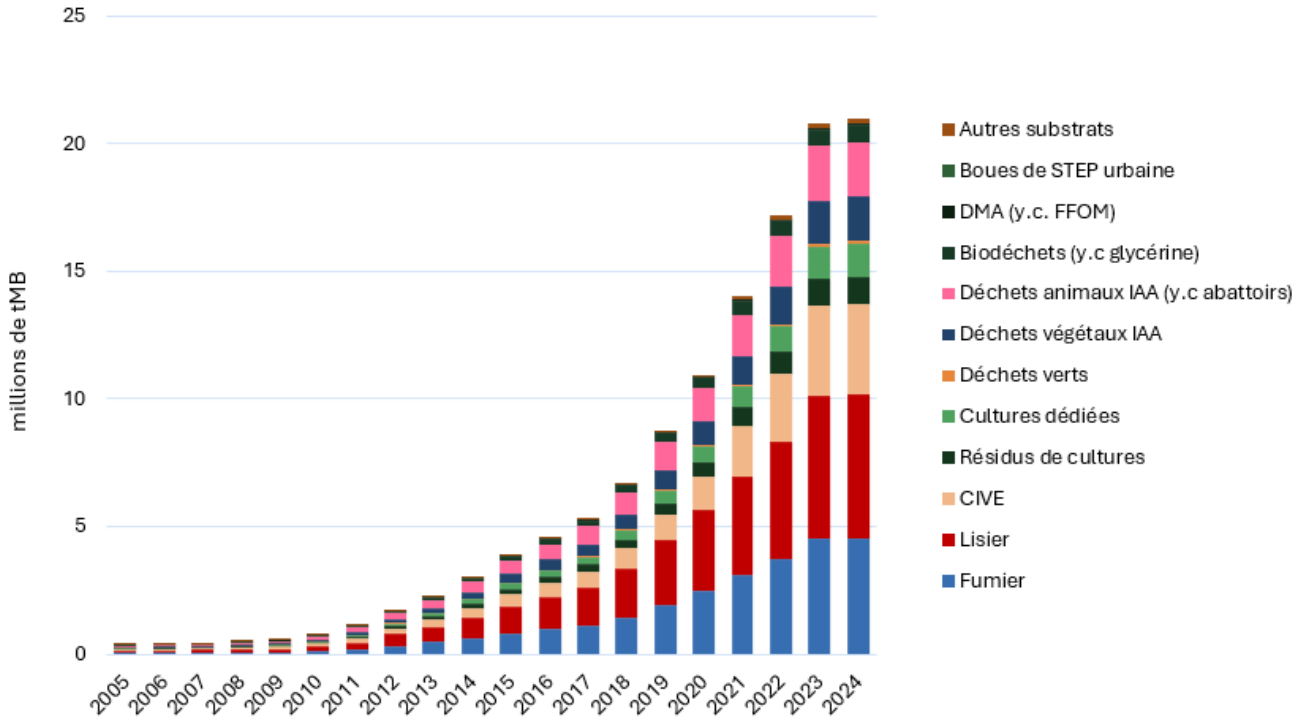
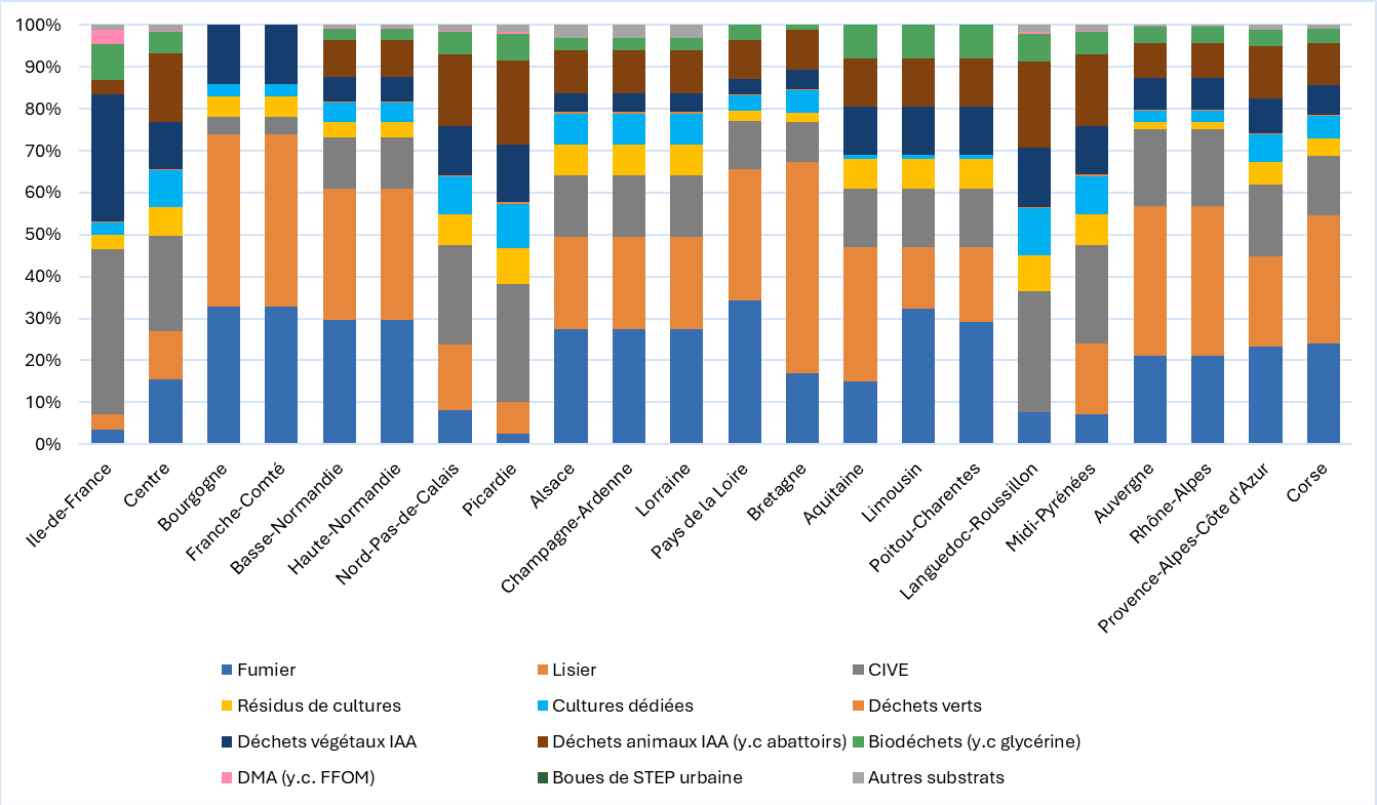


Figure 155. Estimation des rations moyennes des méthaniseurs agricoles par ancienne région (avant réforme 2016) pour l'année la plus récente – Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME…



5.1.1.5.2 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 (Tableau 163). 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 163. 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

Ces estimations sont réalisées pour l'ensemble des animaux d'élevage.

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 ».

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 :

$$\text{places LAC } méthanisées = places\ lisier\ méthanisées \times \frac{places\ LAC}{places\ LAC +\ places\ LSC}$$

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 164 : 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%
	2024	8,0%	7,5%	37,3%	2,8%	39,8%	2,4%	2,3%
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%
	2024	2,4%	1,0%	40,4%	10,9%	42,3%	0,5%	2,5%

Figure 156 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE)

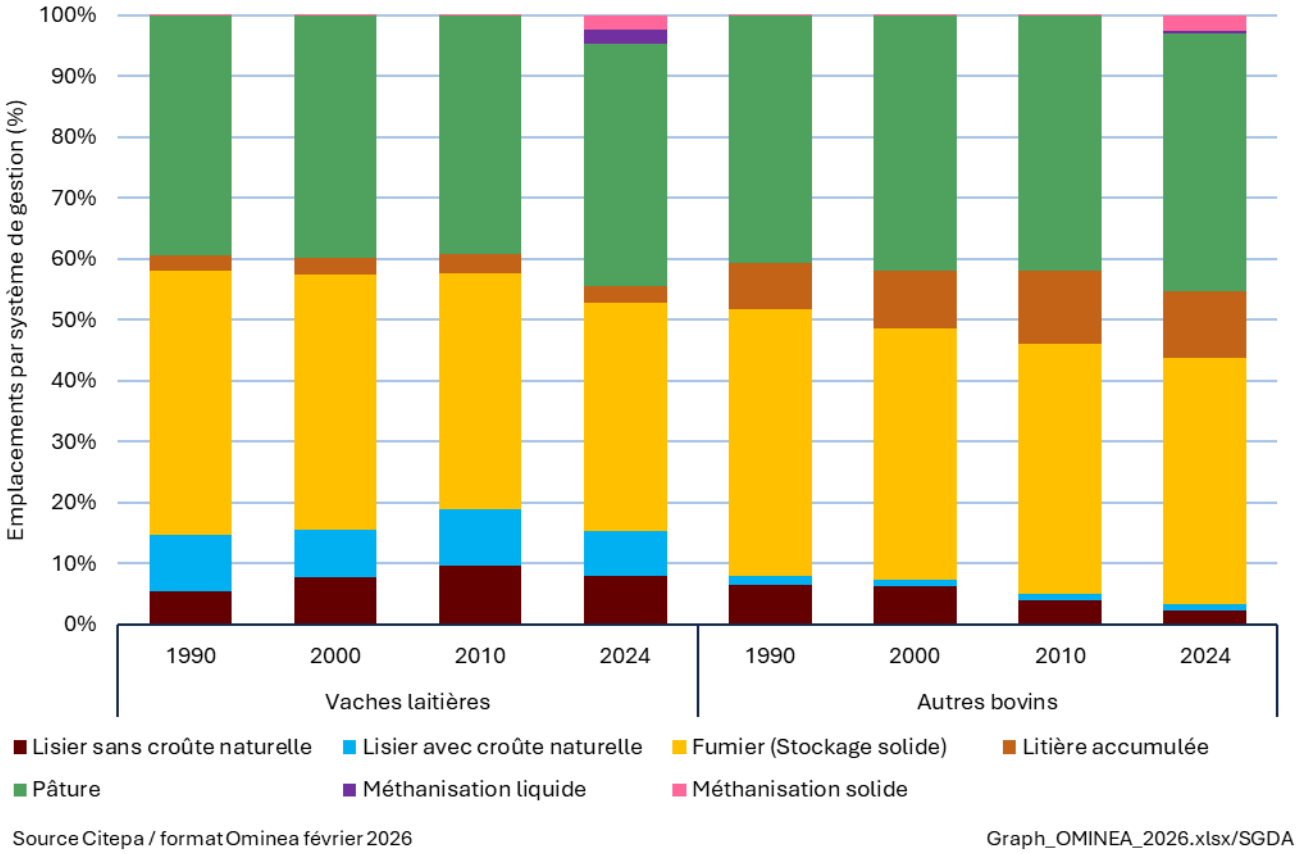
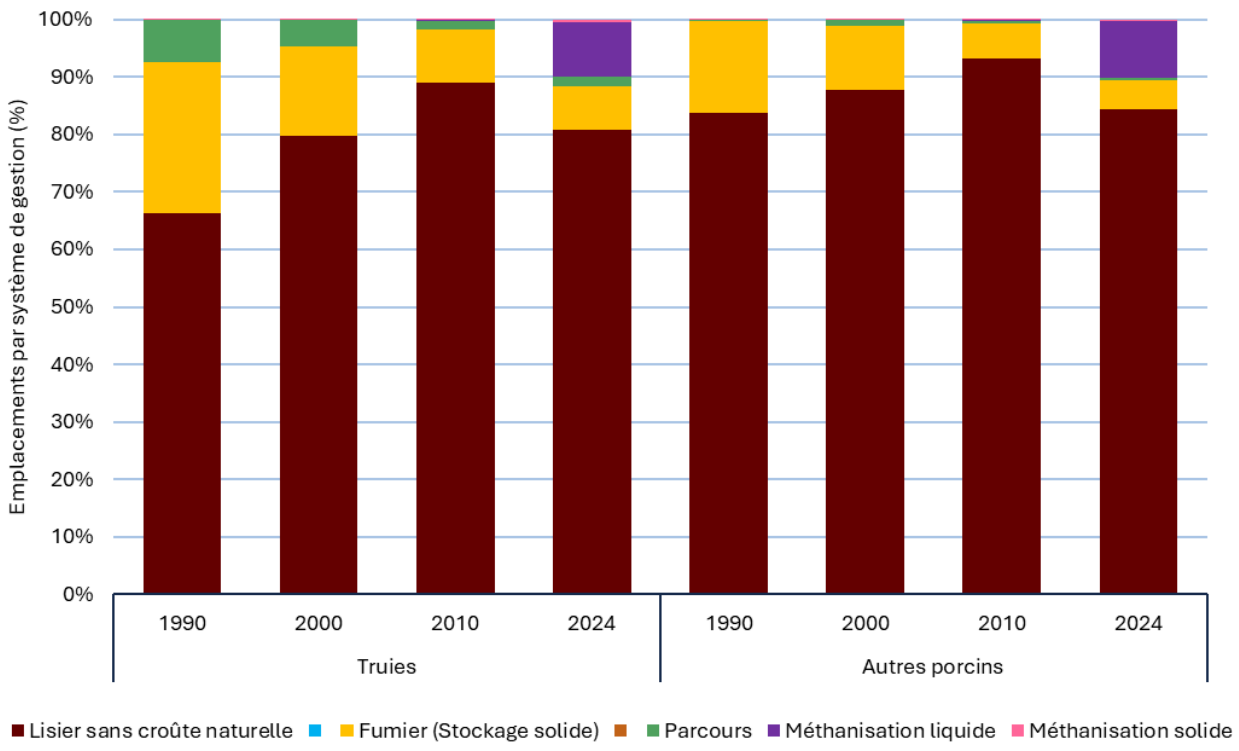


Tableau 165 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE)

		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%
	2024	80,8%	7,6%	1,7%	9,5%	0,4%
Autres porcins	1990	83,7%	16,0%	0,3%	0,1%	0,0%
	2000	87,7%	11,1%	1,1%	0,1%	0,0%
	2010	93,3%	6,0%	0,5%	0,2%	0,0%
	2024	84,3%	5,0%	0,6%	9,8%	0,3%

Figure 157 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE)

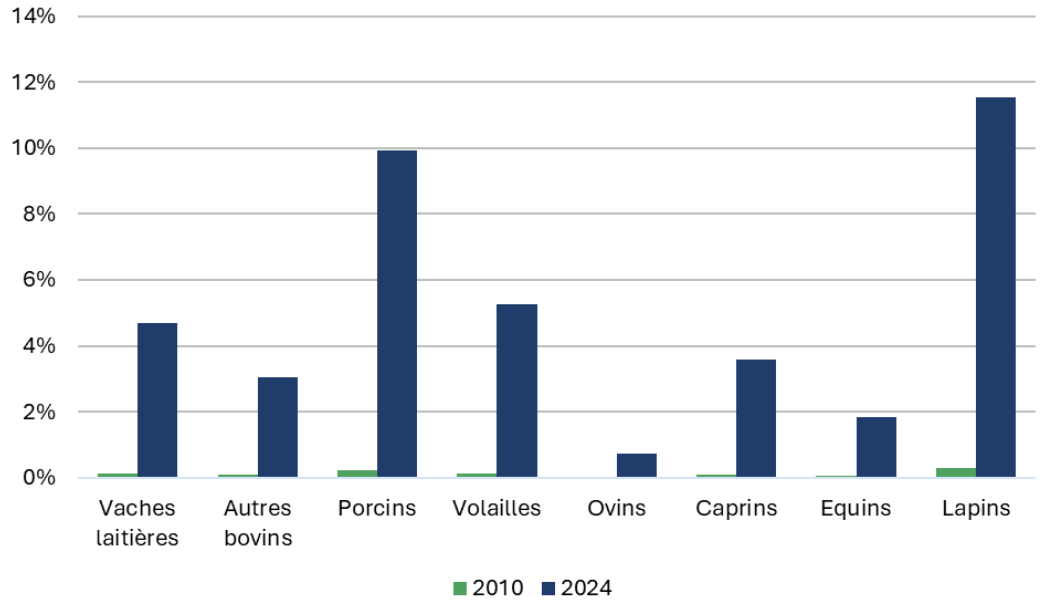


Source Citepa / format Ominea février 2026

Source Citepa / format Ominea février 2026

Pour les autres espèces, on procède de la même manière que pour les bovins et les porcins.

Figure 158 : Part de la méthanisation au sein des modes de gestion selon la catégorie animale



5.1.1.5.3 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 166 : 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	Hypothèse nationale sur les types de déchets et leur teneur en azote
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	
Autres substrats	Industries non alimentaires (papeterie, chimie…)	9,1	Methasim

5.1.1.6 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 ».

5.1.1.6.1 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 :

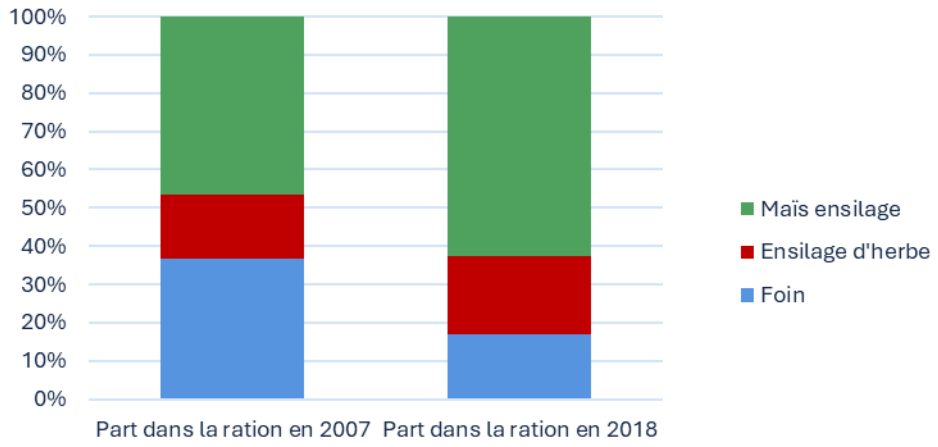
- le format des animaux,
- la production laitière,
- les fourrages consommés (herbe pâturée, foin, herbe conservée, ensilage de maïs).

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 159 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture



Source Citepa / format Ominea février 2026

Graph_Ominea_2026.xlsx/Ration

Tableau 167 : 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.

5.1.1.6.2 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 France hexagonale 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.

5.1.1.6.3 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 168 : 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

5.1.1.6.4 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:

$$N_{consommation} = \frac{EB}{18{,}45} \times \frac{PB\%}{100/6{,}25}$$

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 :

$$N_{ex} = N_{conso_annuelle} \times (1 - N_{retention})$$

$N_{retention}$ =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.

5.1.1.6.5 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 :

$$N_{consommation} = \frac{EB}{18{,}45} \times \frac{PB\%}{100/6{,}25}$$

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 :

$$\mathrm{N}_{ex} = N_{conso_annuelle} \times (1 - N_{retention})$$

$N_{retention}$ =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.

5.1.1.6.6 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].

5.1.1.6.7 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.

5.1.1.6.8 Récapitulatif des références pour l'excrétion azotée

Le tableau suivant récapitule les différentes sources des Fex par catégorie animale de la SAA :

Tableau 169 : 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 France hexagonale, par catégorie animale détaillée :

Tableau 170 : Evolution des Fex en France hexagonale par catégorie animale détaillée (kg N/tête/an)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2024
Vaches laitières	104,2	107,5	108,5	110,9	112,7	114,8	116,0	118,7
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	69,0
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	78,5
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	4,5
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)	13,0	14,2	13,9	13,1	12,8	12,3	12,0	12,9
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 171 : Evolution des Fex au périmètre UE par catégorie animale agrégée (kg N/tête/an)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2024
Vaches laitières	104,2	107,5	108,5	110,9	112,7	114,8	116,0	118,7
Autres bovins	57,3	59,1	58,8	59,1	59,6	59,6	60,0	60,3
Truies	24,6	24,6	22,4	21,5	21,0	20,7	20,7	20,7
Autres porcins	8,5	9,3	9,1	8,8	8,7	8,6	8,4	9,0

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	52,3
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	0,4
Lapines reproductrices	8,1	8,1	7,7	7,5	7,3	7,5	7,5	7,5

5.1.1.7 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.

5.1.1.7.1 Vaches laitières

MODI = Matière Organique Digestible Ingérée (kg/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.

5.1.1.7.2 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 CH_4 : 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.

5.1.1.7.3 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]

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 France hexagonale 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.

5.1.1.7.4 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

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

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

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.

5.1.1.7.5 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 172 : 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.

Les valeurs données dans le tableau suivant pour les poids présentent la plage de valeurs 1990-2024 :

Tableau 173 : 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 – 1,76 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] Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	1,99 kg – 1,76 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 ; 2012-année en cours : poids moyens à l'abattage de l'année 2012 [504] divisés par deux ; 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. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	0,90 kg – 1,04 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. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	1,99 kg – 1,89 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. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	1,93 kg – 2,23 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. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	4,19 kg – 5,94 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 ; 2012-année en cours : poids moyens à l'abattage de l'année 2012 [504] divisés par deux ; 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. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	0,82 kg – 0,95 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 ; 2012-année en cours : poids moyens à l'abattage de l'année 2012 [504] divisés par deux ; 2007-2011 : interpolation linéaire	0,14 kg – 0,13 kg

Les SV ainsi estimés varient dans le temps par sous-catégorie animale, les plages 1990-2024 sont présentées dans le tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV » ci-dessous.

Pour les lapines, le paramètre SV prend les valeurs par défaut fournies par le Giec 2019 [1229].

Tableau 174 : Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV

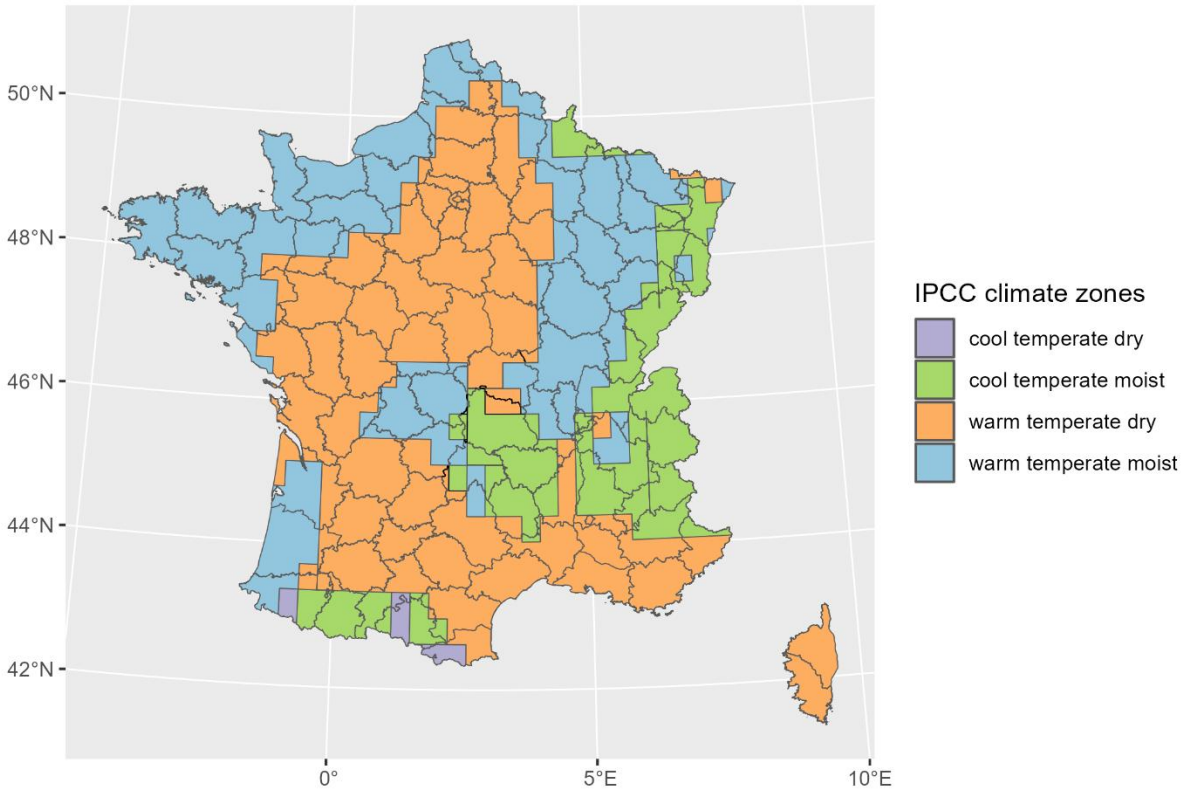
Catégorie animale		SV (kg SV/jour)	Provenance du SV
Vaches laitières		4,64 - 6,69	Mondferent I
Autres bovins	Vaches nourrices	2,86	Mondferent I
	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	2,64	Mondferent I
	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	2,18	Mondferent I
	Génisses de 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	Mondferent II
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 - 0,015	Giec 2019
	Poules pondeuses d'œufs de consommation	0,017 - 0,015	Giec 2019
	Poulettes	0,004 - 0,005	Giec 2019
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	0,015 - 0,017	Giec 2019
	Canards à gaver	0,015 - 0,014	Giec 2019
	Canards à rôtir	0,014 - 0,016	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 - 0,012	Giec 2019
	Cailles d'élevage	0,0017 - 0,0016	Giec 2019
Autres	Lapines reproductrices	0,10	Giec 2019

5.1.1.8 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] (Figure 160). 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 entre climats selon les températures annuelles moyennes (cool temperate, warm temperate), 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 160. Carte des climats Giec 2019 centrée sur la France hexagonale



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 de la répartition des surfaces agricoles selon ces quatre climats a été réalisée au niveau communal et est reportée au niveau régional ci-dessous. Pour la France hexagonale l'analyse a été réalisée par intersection de couches de données spatialisées (traitement SIG). Ainsi, on estime que 50.7 % de la France hexagonale se situe en climat humide et 49.3 % en climat sec selon la méthodologie du Giec (Tableau 175).

Tableau 175. Répartition des surfaces agricoles en hectares selon la zone climatique en France hexagonale en 2023

Hectares	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	607 702	0
Champagne-Ardenne	0	167 065	561 569	910 771
Picardie	0	0	1 050 348	333 884
Haute-Normandie	0	0	97 296	721 226
Centre	0	0	2 360 609	177 708
Basse-Normandie	0	0	30 748	1 342 561
Bourgogne	0	3	810 578	1 089 823
Nord-Pas-de-Calais	0	0	215 695	655 054
Lorraine	0	188 447	21 309	1 007 106
Alsace	0	249 841	39 565	74 067
Franche-Comté	0	373 305	0	342 291
Pays de la Loire	0	0	1 555 329	815 086
Bretagne	0	0	82 757	1 756 057
Poitou-Charentes	69	69	1 802 418	57 668
Aquitaine	45 774	78 279	1 037 313	421 558
Midi-Pyrénées	87 084	349 963	1 879 620	74 739
Limousin	344	35 715	163 699	712 154
Rhône-Alpes	0	728 095	209 364	622 379
Auvergne	0	812 538	444 923	299 507
Languedoc-Roussillon	14 979	161 496	667 121	0
Provence-Alpes-Côte d'Azur	0	130 065	454 562	0
Corse	0	0	60 306	0
France hexagonale	148 250	3 274 881	14 152 829	11 413 638

Tableau 176 : Répartition des surfaces agricoles en pourcentages selon la zone climatique en France hexagonale en 2023

%	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%	10.2%	34.3%	55.6%
Picardie	0.0%	0.0%	75.9%	24.1%
Haute-Normandie	0.0%	0.0%	11.9%	88.1%
Centre	0.0%	0.0%	93.0%	7.0%
Basse-Normandie	0.0%	0.0%	2.2%	97.8%
Bourgogne	0.0%	0.0%	42.7%	57.3%
Nord-Pas-de-Calais	0.0%	0.0%	24.8%	75.2%
Lorraine	0.0%	15.5%	1.8%	82.8%
Alsace	0.0%	68.7%	10.9%	20.4%
Franche-Comté	0.0%	52.2%	0.0%	47.8%
Pays de la Loire	0.0%	0.0%	65.6%	34.4%
Bretagne	0.0%	0.0%	4.5%	95.5%
Poitou-Charentes	0.0%	0.0%	96.9%	3.1%
Aquitaine	2.9%	4.9%	65.5%	26.6%

Midi-Pyrénées	3.6%	14.6%	78.6%	3.1%
Limousin	0.0%	3.9%	18.0%	78.1%
Rhône-Alpes	0.0%	46.7%	13.4%	39.9%
Auvergne	0.0%	52.2%	28.6%	19.2%
Languedoc-Roussillon	1.8%	19.1%	79.1%	0.0%
Provence-Alpes-Côte d'Azur	0.0%	22.2%	77.8%	0.0%
Corse	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
France hexagonale	0.5%	11.3%	48.8%	39.4%

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 177. 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 %	-

5.1.1.9 Carte des pH du sol

Le pH des sols a une influence sur les émissions de NH_3 liées à la fertilisation minérale. Le pH du sol a également un effet sur les émissions de N_2O mais cela n'est pour le moment pas pris en compte. Afin de refléter les effets contrastés des apports azotés minéraux sur les sols en fonction de leur niveau d'acidité, une carte des pH du sol a été reconstituée sur la base des données cantonales de la BDAT sur les caractéristiques du sol [965].

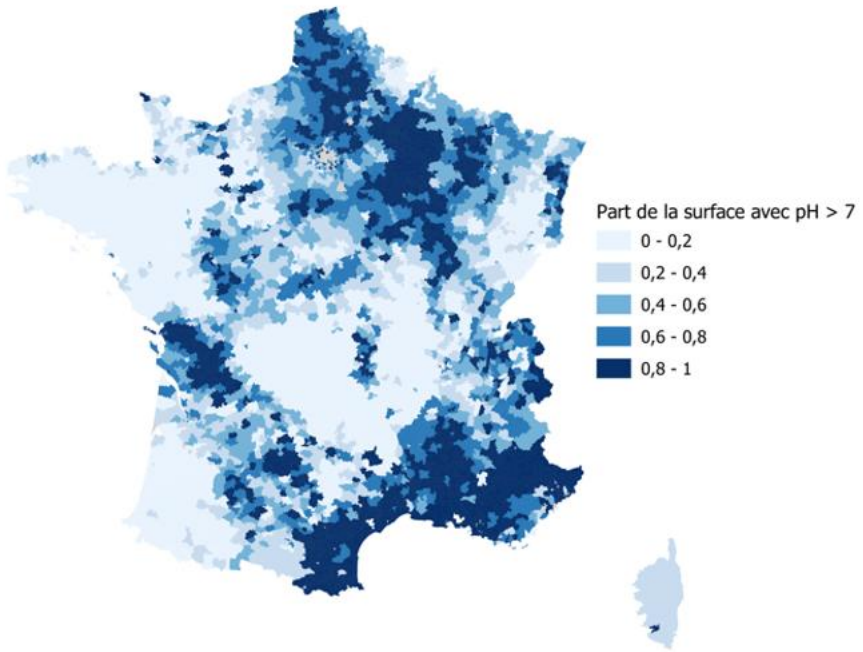


Figure 161. Part de la surface avec un pH supérieur à 7

5.1.1.10 Clé de répartition infranationale des apports d'azote minéraux

Les apports d'engrais minéraux par commune ont été estimés afin de pouvoir décliner le facteur d'émission du N_2O (FE1) selon la zone climatique du Giec (Figure 160) et le facteur d'émission du NH_3 selon le pH du sol. Le suivi spatialisé de l'azote s'avérant utile pour le suivi des émissions 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 azotée minérale par type de culture à l'échelle régionale. La répartition des apports par forme d'engrais et type de culture a également été récupérée à l'échelle régionale pour l'année 2011. Lorsque les données sont manquantes, la référence de la dernière année disponible est utilisée.

Les surfaces par culture à l'échelle communale sont reprises des données spatialement explicites d'occupation des sols estimées au sein de l'édition 2025 de l'inventaire [1385]. Les surfaces en agriculture biologique par type de culture sont reprises de l'agence bio [1387]. Sur cette base on estime une surface en agriculture conventionnelle par

type de culture à la commune à laquelle on applique un niveau de fertilisation issu des enquêtes pratiques culturales.

Les apports azotés obtenus sont ensuite ajustés par optimisation sous contrainte pour correspondre aux apports totaux d'engrais minéraux estimés à partir des enquêtes de livraison Unifa. On obtient ainsi une répartition de l'azote minéral épandu par forme à l'échelle communale cohérente avec les données nationales.

En croisant les informations sur les climats (Figure 160), les pH (Figure 161. Part de la surface avec un pH supérieur à 7Figure 161) et la répartition de la fertilisation minérale à l'échelle communale, il est possible d'estimer des apports annuels moyen à la commune par forme, climat et catégorie de pH. Cette répartition nous permet ainsi d'estimer de façon plus précise les émissions de N_2O et de NH_3.

Tableau 178. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2021 - Retraitement Citepa à partir des données des enquêtes pratiques culturales, avant optimisation

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	166	192	118	130	65	73	143	94	94	120
Guadeloupe	162	192	118	130	65	73	143	94	103	119
Haute-Normandie	166	192	118	130	65	73	143	94	94	120
Île-de-France	185	192	95	144	65	73	143	94	94	121
Languedoc-Roussillon	173	192	115	140	65	73	135	94	94	122
Limousin	166	147	118	105	65	73	143	94	61	110
Lorraine	166	192	118	130	65	73	143	94	85	120
Midi-Pyrénées	158	192	113	139	67	73	140	94	113	119
Nord-Pas-de-Calais	166	192	118	130	65	73	143	94	94	120
Pays de la Loire	140	193	118	90	65	56	179	96	79	108
Picardie	181	192	119	149	65	73	113	94	94	125
Poitou-Charentes	141	205	62	116	65	70	90	94	99	107
Provence-Alpes-Côte d'Azur	183	192	119	150	95	73	129	94	94	129
Réunion	161	199	92	132	65	55	146	94	95	114
Rhône-Alpes	166	138	118	130	65	73	143	94	94	112
France	166	192	118	130	65	73	143	94	94	120

Tableau 179. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2021 et en 2017 pour les prairies - Retraitement Citepa à partir des données des enquêtes pratiques culturales, avant optimisation

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	156	44	3	69	1	1	94	145	30	72	42	20
Guadeloupe	165	44	1	69	1	1	94	145	30	143	28	17
Haute-Normandie	156	44	3	69	1	1	94	145	30	72	42	20
Île-de-France	173	44	3	69	1	0	86	128	33	87	117	55
Languedoc-Roussillon	179	44	3	69	1	1	97	141	30	72	42	20
Limousin	164	17	3	69	1	1	94	145	30	72	39	20
Lorraine	156	44	3	69	1	1	94	145	30	64	32	10
Midi-Pyrénées	163	57	3	69	1	3	94	145	30	115	42	38
Nord-Pas-de-Calais	156	44	3	69	1	1	94	145	30	72	42	20
Pays de la Loire	157	42	2	12	1	1	94	145	30	85	40	12
Picardie	173	44	3	69	1	6	91	159	28	99	42	77
Poitou-Charentes	119	31	3	53	1	3	94	145	30	47	51	29
Provence-Alpes-Côte d'Azur	171	44	3	69	1	0	102	156	24	107	42	24
Réunion	158	41	2	59	1	0	94	116	30	94	42	13
Rhône-Alpes	156	44	3	69	1	1	94	145	30	72	42	20
France	156	44	3	69	1	1	94	145	30	72	42	20

Figure 162 : Evolution des apports moyens en azote minéral sur blé tendre au niveau de la France hexagonale (incluant les parcelles non fertilisées)

5.1.1.11 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.

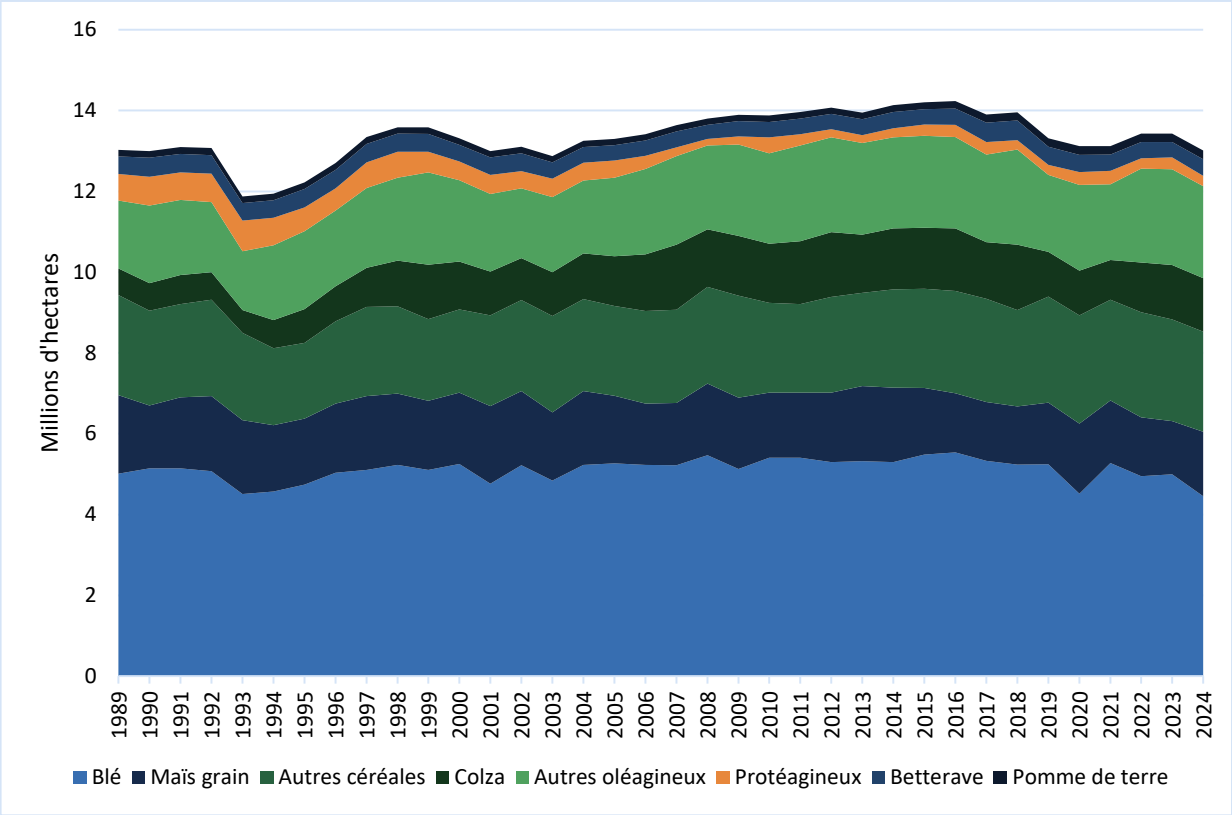


Figure 163 : Évolution des superficies cultivées des principales cultures en France hexagonale – Source : Agreste - SAA

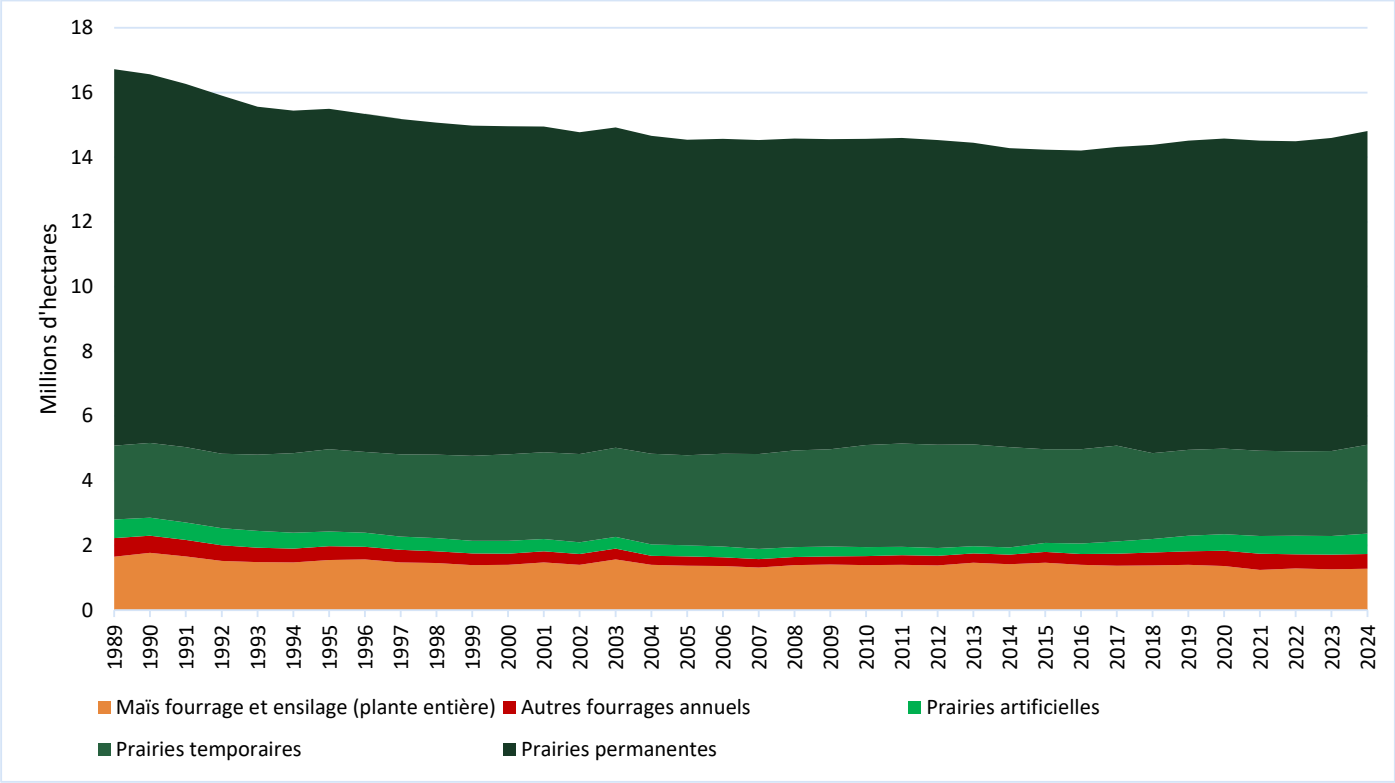


Figure 164 : Évolution des superficies fourragères en France hexagonale – Source : Agreste – SAA

5.1.1.12 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 en raison des 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. Après un retour à des niveaux de production plus élevés sur la période 2021-2023, bien qu'en dents de scie, l'année 2024 se voit marquée par des conditions climatiques atypiques qui ont favorisé la croissance de l'herbe, mais la pluviométrie excessive a lourdement impacté les rendements céréaliers, avec une récolte au plus bas depuis quarante ans.

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 2024 (dont environ 36% pour les vaches laitières) devant celui des ovins (7%) et celui des caprins (2 %).

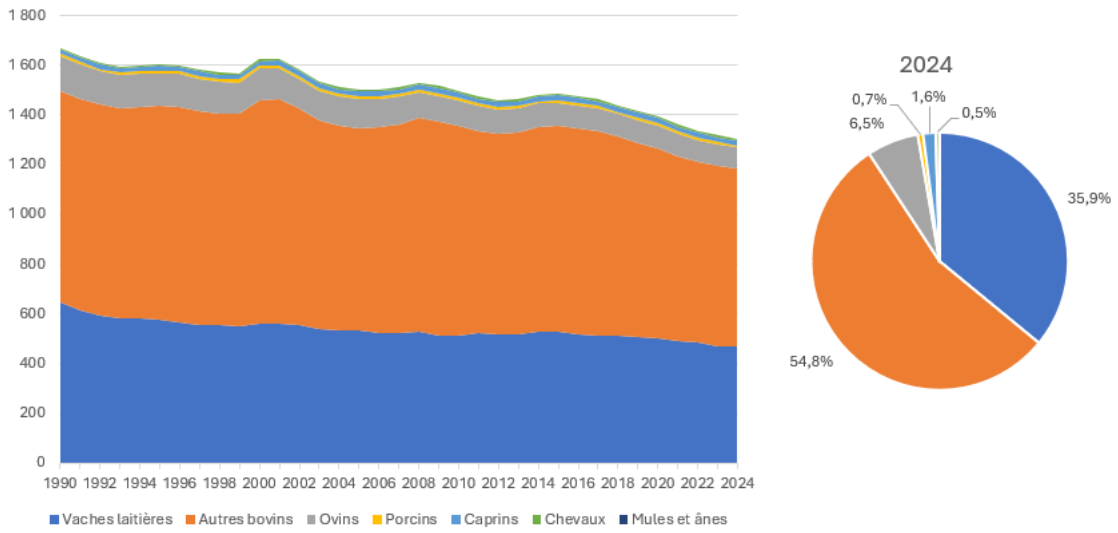


Figure 165 : Evolution et répartition des émissions de CH_4 (kt) de la fermentation entérique par catégorie animale (Périmètre UE)

Les émissions de la fermentation entérique ont diminué de 22 % sur la période 1990-2024, ces réductions se retrouvant principalement au niveau des cheptels bovins : -28 % pour les émissions des vaches laitières et - 16 % 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.

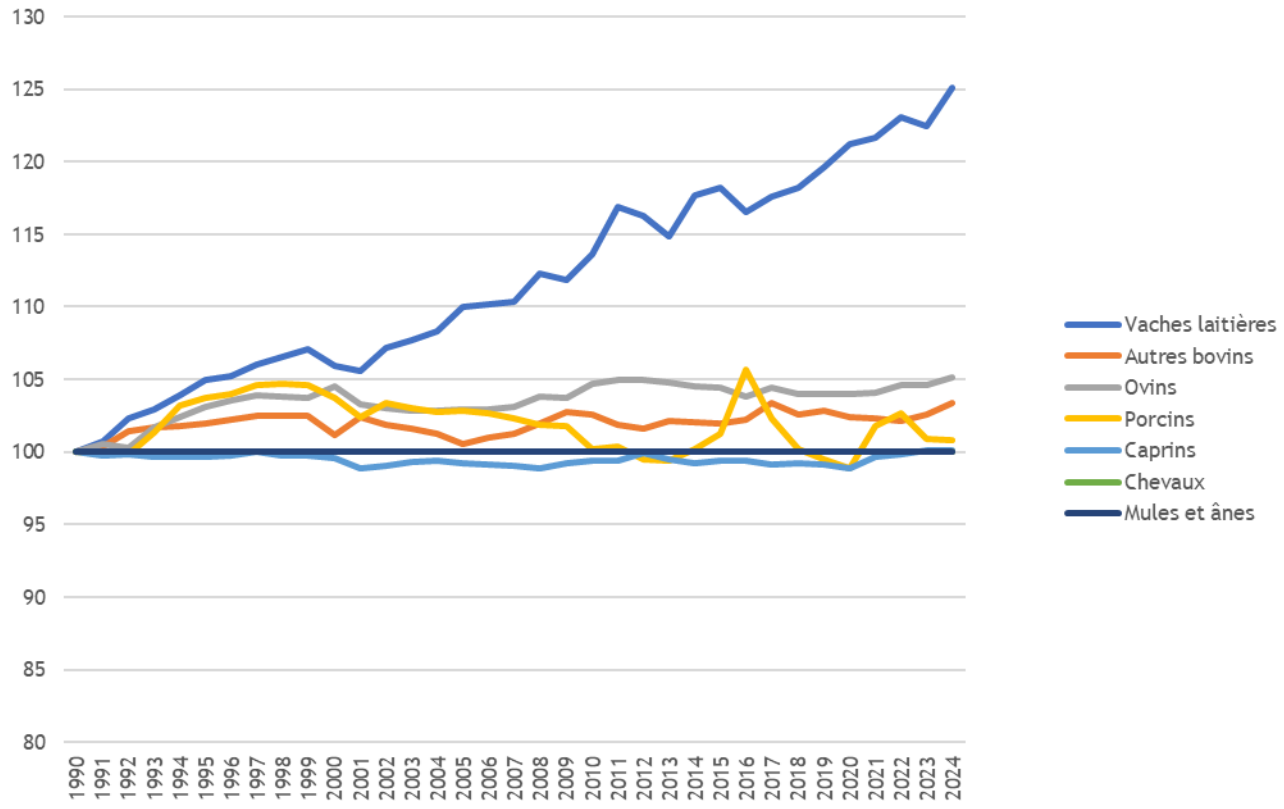


Figure 166 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de CH_4 de la fermentation entérique par tête par an par catégorie animale

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. 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 180 : Récapitulatif des méthodes d'estimation du CH_4 entérique

		Donnée d'activité	Provenance du FE	Tier level
Vaches laitières		Cheptel	Eugène, et al (2019)	Tier 3
Autres bovins	Vaches nourrices	Cheptel	Mondferent I	Tier 3
	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	Tier 3
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	Production	Mondferent II	Tier 3
	Verrats de 50 kg et plus	Cheptel	Vermorel	Tier 2
	Porcs à l'engrais (>30kg)	Production	Mondferent II	Tier 3
Truies de 50 kg et plus		Cheptel	Mondferent II	Tier 3
Caprins	Chevrettes	Cheptel	Mondferent II	Tier 3
	Chèvres (femelles ayant mis bas)	Cheptel	Mondferent II	
	Autres caprins (y compris boucs)	Cheptel	Mondferent II	
Ovins	Agnelles	Cheptel	Mondferent II	Tier 3
	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	Tier 2
	Chevaux lourds	Cheptel	Vermorel	
Anes, mulets, bardots		Cheptel	Vermorel	

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) :

$$CH_4 \text{ (g/kg PV/jour)} = 0{,}083 + 0{,}025 \times \text{MODI (g/kg PV/jour)}$$

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 :

$$CH_4 \text{ (g)} / \text{MODI (kg)} = 45{,}42 - 6{,}66\ NI + 0{,}75\ NI^2 + 19{,}65\ PCO - 35{,}0\ PCO^2 - 2{,}69\ NI \times PCO$$

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

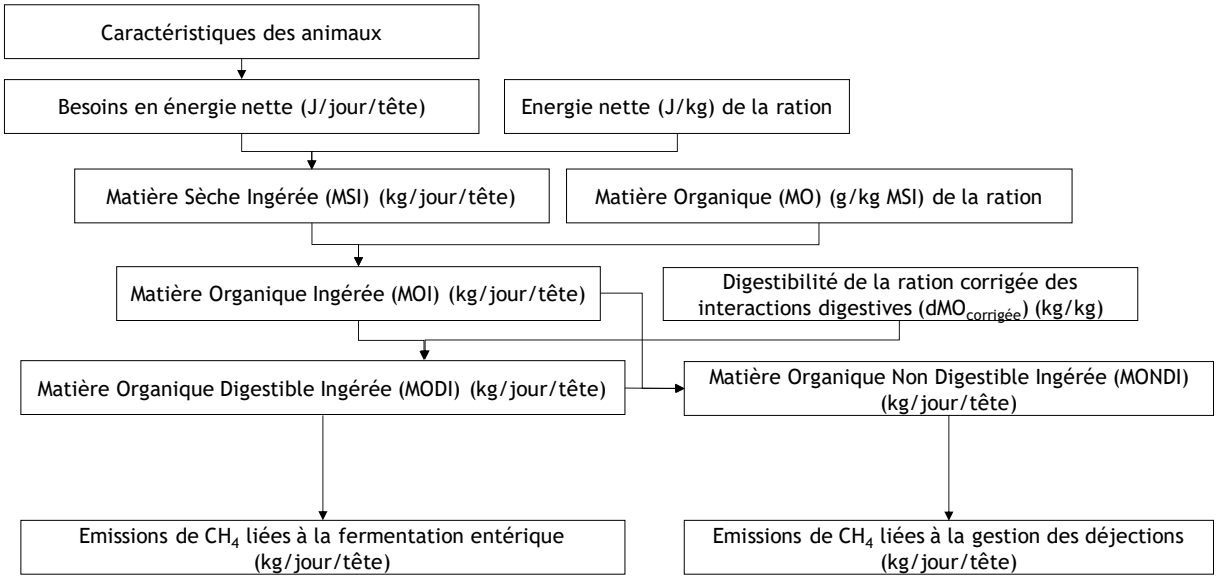


Figure 167 : Schéma récapitulatif de l'évaluation du CH_4 entérique par la méthode MONDFERENT II

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 :

$$CH_4\,(\text{kg/tête}) = \text{Aliment} \times (\text{ResDintake1} \times \text{Prop1} + \text{ResDintake2} \times \text{Prop2}) \times \text{Perte_Energie} / 55{,}65$$

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 France hexagonale 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, 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, 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 1990-2024 est indiquée.

Tableau 181 : 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	121,9 - 152,5	274 - 372	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 - 0,33	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

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 182 : 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] Vaches allaitantes : valeurs du Giec pondérées par les durées moyennes de lactation, issues du du site internet Web-agri [1252] Autres bovins : Giec
Poids	Poids vif de l'animal	Vaches laitières : recalcul à partir des races représentatives de la situation nationale 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 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)

		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 183 : 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 2024, et ceux calculés à partir des paramètres ci-dessus, en suivant la méthodologie Giec 2019 [1229].

Tableau 184 : 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	2024	1990	2024	1990	2024
Vaches laitières	121,9	152,5	107,9	145,5	13%	5%
Vaches nourrices	81,0	81,0	79,6	79,9	2%	1%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	77,7	77,7	54,5	54,4	43%	43%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	63,2	63,2	58,2	58,2	8%	9%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	69,1	69,1	50,5	50,3	37%	37%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	76,3	76,3	65,2	65,0	17%	17%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	76,3	76,3	67,5	67,5	13%	13%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	55,8	55,8	60,1	60,0	-7%	-7%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	52,4	52,4	58,7	58,7	-11%	-11%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	58,6	58,6	63,9	63,9	-8%	-8%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	64,3	64,3	63,9	63,8	1%	1%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	69,3	69,3	69,9	69,8	-1%	-1%
Veaux de boucherie	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%
Autres femelles de moins de 1 an	22,8	22,8	44,7	44,7	-49%	-49%
Autres mâles de moins de 1 an	23,8	23,8	42,4	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 185 : 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	2024	1990	2024	1990	2024
Vaches laitières	274	372	261	343	5%	8%
Vaches nourrices	190	190	193	193	-1%	-2%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	181	181	132	132	37%	37%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	142	142	141	141	0%	0%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	155	155	122	122	27%	27%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	172	172	158	157	9%	10%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	172	172	163	163	6%	6%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	130	130	145	145	-11%	-11%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	122	122	142	142	-14%	-14%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	138	138	155	155	-11%	-11%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	159	159	155	154	3%	3%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	176	176	169	169	4%	4%
Veaux de boucherie	0	0	87	88	-	-
Autres femelles de moins de 1 an	54	54	108	108	-50%	-50%
Autres mâles de moins de 1 an	63	63	103	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 186 : Comparaison des Ym - MONDFERENT I et II / Giec 2019

	Ym recalculé national (%)		Ym estimé à partir du Giec 2019 (%)		Variation national/Giec 2019 (%)	
	1990	2024	1990	2024	1990	2024
Vaches laitières	6,8	6,3	6,3	6,3	8%	-1%
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 187 : Comparaison des FE nationaux aux FE Tiers 1 du Giec 2019

	Facteurs d'émission nationaux (1990-2024)	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	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	46 750	44 909	45 444	42 092	41 955	38 987	38 074	37 361	36 841	0
Nouveau	kt CO2e	46 779	44 933	45 466	42 112	41 973	39 004	38 091	37 382	36 885	36 545
Différence	kt CO2e	+29	+24	+23	+20	+18	+18	+17	+21	+44	+36 545
	%	+0,1%	+0,1%	+0,1%	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,1%	+0,1%	-

Source Citepa / mars_2026 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

L'ajustement de certains paramètres du modèle pour estimer le facteur d'émission de méthane entérique des vaches laitières entraine une hausse des émissions sur la période (calcul de l'énergie associée aux interactions digestives, répartition du rendement laitier entre primipare et multipare).

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 2025, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 8) :

CRT category / issue	Review recommendation	Review draft report / paragraph	MS response / status of implementation

"Agriculture (5.A.1, 2025) 3.A Enteric fermentation – CH4"	The TERT noted the statement on page 520 of the NID where the Party did not provide clear description of the methodological tiers applied for some animal categories under enteric fermentation which is a key category. The TERT also noted that the reporting is not in accordance with the MPGs para. 22 which requires each Party to transparently explain national methods, data and/or parameters selected. During the review, the Party indicated that they reported methodology and Tier classification using national methods in estimating CH4 emissions from enteric fermentation which will be updated, including the re-evaluation of the applied methodologies (Mondferent I, Mondferent II, and Vermorel). The Party further indicated its intention to reflect these changes in future submissions. The TERT recommends the Party to clearly assign the methodology used for all animal category in future NIRs.	2025 Draft BTR review report	Implemented

Suite à la revue CCNUCC 2025, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 8) :

CRT category / issue	Review recommendation	Review draft report / paragraph	MS response / status of implementation
FR-3A-2025-0002 3A Enteric Fermentation, CH4, 2021-2023	For category 3A1b Non-Dairy Cattle CH4 for the years 2021-2023 the TERT noted that a check calculation (GE*Ym/100*365/55,65*population) with the numbers reported in the CRT differs from emission reported. The TERT notes that this issue does not relate to an over- or under-estimate of emissions. In response to a question raised during the review, France explained that there was an issue in the weighted Ym value reported for non-dairy cattle. The values were wrongly weighted at the regional scale based on the annual average population instead of gross energy intake per subcategory. The TERT recommends that France include the provided corrected weighted values of Ym in the next submission.	ESR review report 2025	France corrected the reported weighted values of Ym for non-dairy cattle.

5.2.7 Améliorations envisagées

La méthodologie utilisée pour estimer les émissions de CH_4 des vaches laitières a été revue pour la soumission 2024. 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 2024, les bovins contribuent à 60 % des émissions de GES devant les porcins (34 %) et les volailles (3 %). Le solde est partagé entre les autres catégories animales.

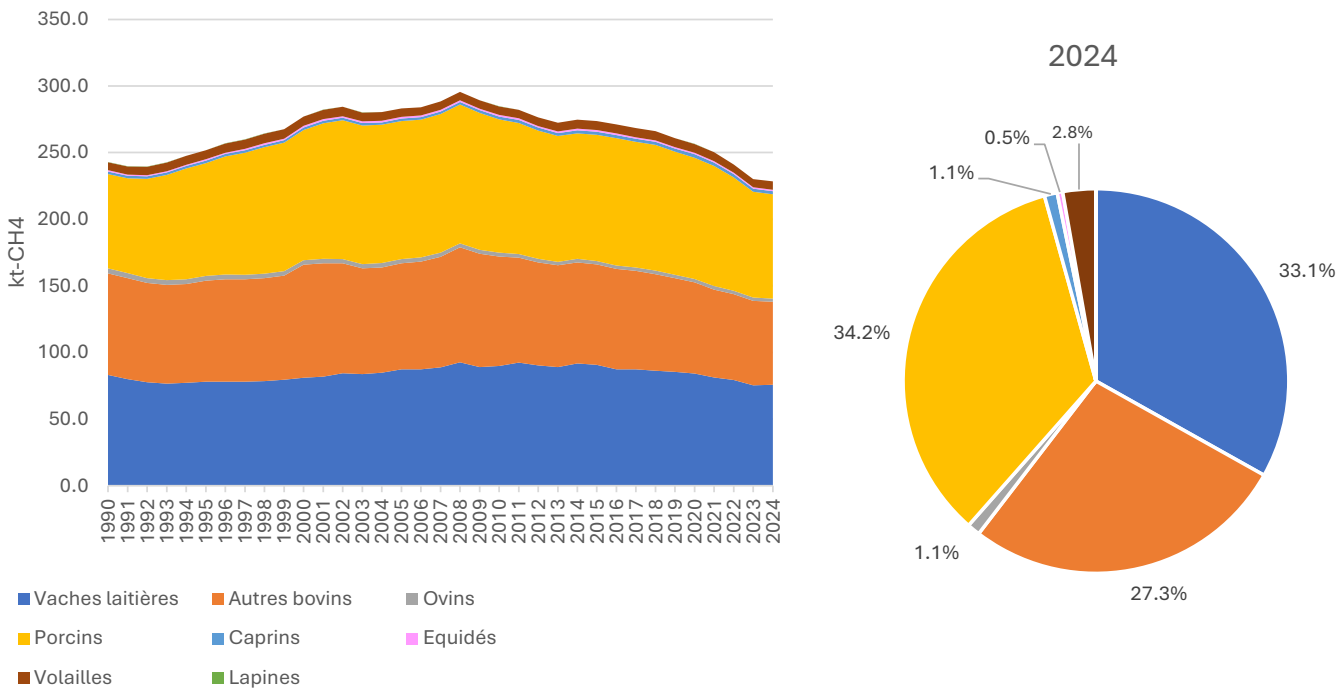


Figure 168 : Evolution et répartition des émissions de CH_4 (kt) de la gestion des déjections par catégorie animale (Périmètre UE)

Les émissions de CH_4 liées à la gestion des déjections sont en léger repli sur la période 1990-2024 (- 6 %), cette stabilité masquant des évolutions contrastées selon les catégories animales. Les émissions associées aux bovins sont en repli de 13 % sur 1990-2024 tandis que celles des porcins sont en hausse (+ 10 %).

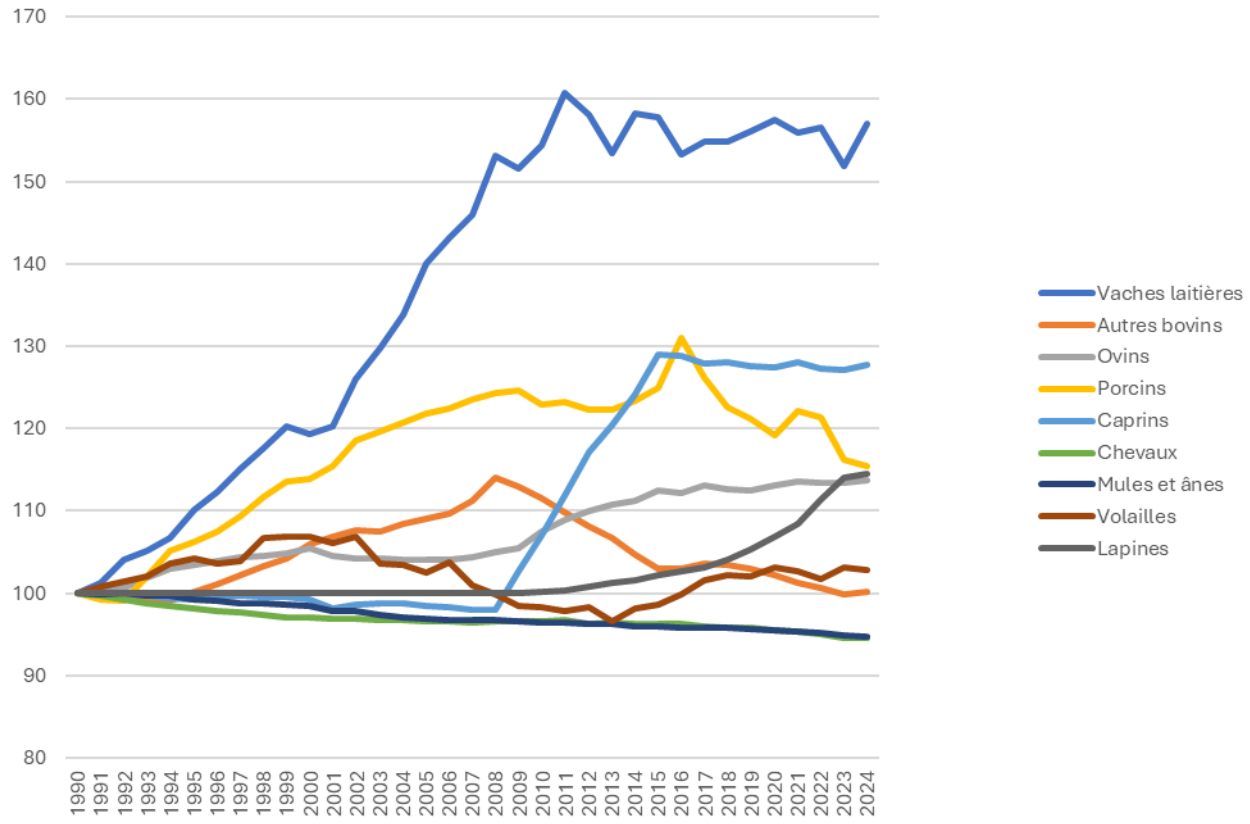


Figure 169 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de CH_4 de la gestion des déjections par tête par an par catégorie animale

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 ». En fin de période, la tendance s'inverse en lien avec le développement de la méthanisation.

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.

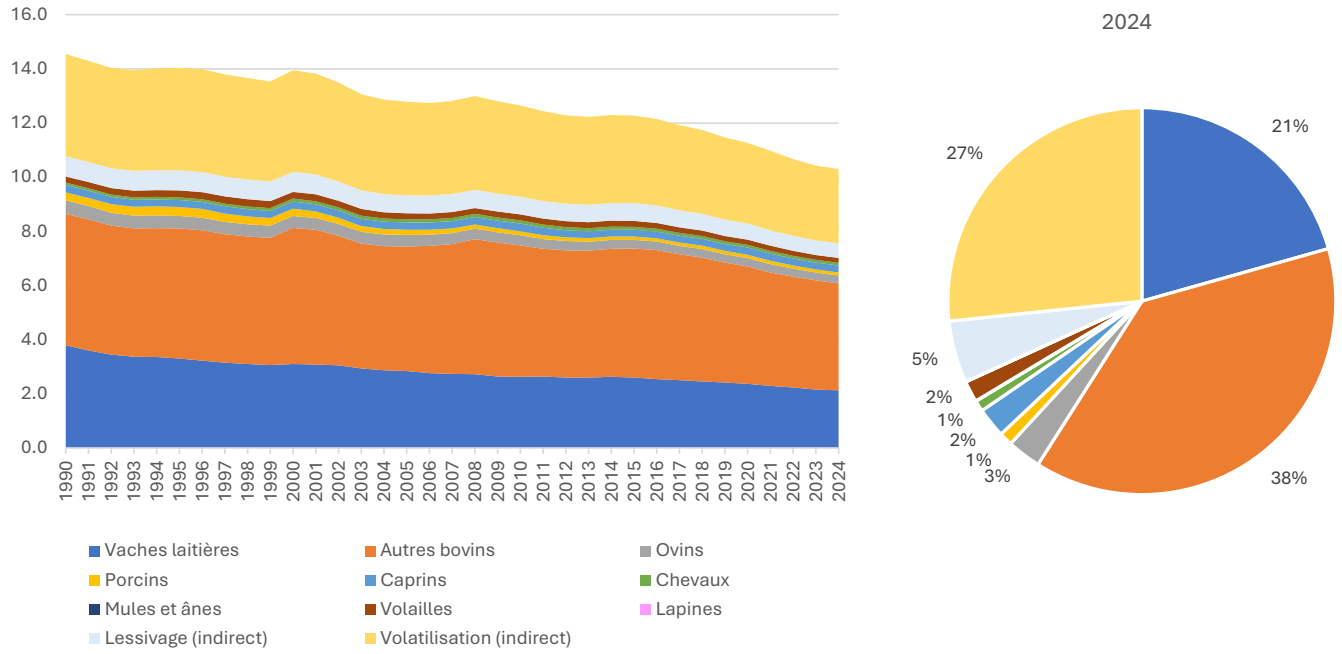


Figure 170 : Evolution et répartition des émissions de N_2O (kt) de la gestion des déjections par catégorie animale (Périmètre UE)

Les émissions de N_2O liées à la gestion des déjections ont diminué de 29 % sur la période 1990-2024, principalement du fait des vaches laitières (- 44 %), aux autres bovins (- 19 %) 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.

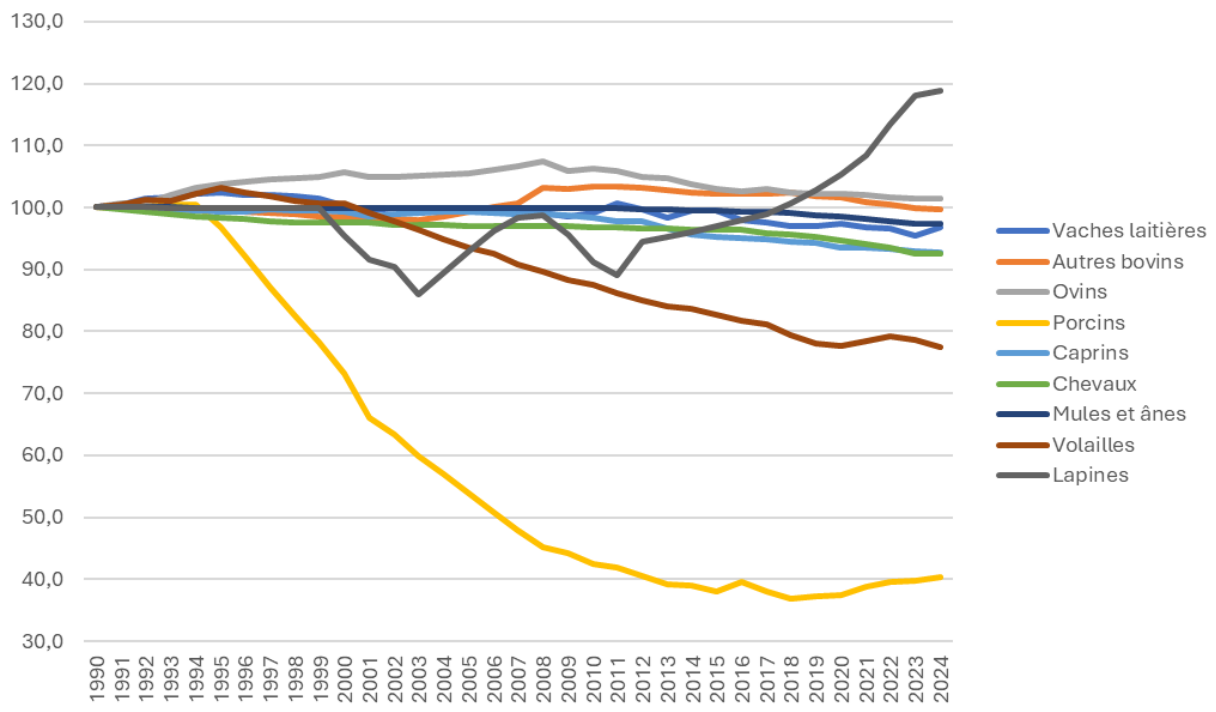


Figure 171 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de N_2O de la gestion des déjections par tête par an et par catégorie animale

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 NH_3 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 188 : Paramètres Bo utilisés dans l'inventaire

	Vaches laitières	Autres bovins	Porcins et truies	Caprins	Ovins	Chevaux	Mules et ânes	Poules pondeuses	Autres volailles	Lapines
Bo	0,24	0,18	0,45	0,18	0,19	0,30	0,33	0,39	0,36	0,32

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 189 : 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="4">Liquid/Slurry, and Pit storage below animal confinements - Retention time 6 months</td><td rowspan="4">Liquid/Slurry, and Pit storage below animal confinements - Retention time 6 months</td><td rowspan="7">Solid storage</td><td>Cattle and Swine deep bedding < 1 mois</td><td rowspan="7">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="6"></td></tr>
<tr><td>Caprins</td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td>Ovins</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Chevaux</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Mules et ânes</td><td rowspan="2"></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><td rowspan="2"></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>

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 France hexagonale : « 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 190 : 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 ». Les zones climatiques sont considérées stables sur la période d'inventaire (1990-2024).

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 %[34] 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[35]. 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 ».

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.

[34]High quality biogas digester, Average storage gastight level, temperate climate zone

[35]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. »

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 N_2O de l'élevage :

- les émissions directes au bâtiment et au stockage,
- les émissions indirectes liées à la volatilisation de NH_3 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 191 : Correspondances facteurs d'émission et systèmes de gestion

	Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier	Litière accumulée	Pâture
Vaches laitières	Liquid/Slurry without natural crust cover **0 kgN-N_2O/kgNex**	Liquid/Slurry with natural crust cover **0,005 kgN-N_2O/kgNex**	Solid storage **0,01 kgN-N_2O/kgNex**	Cattle and swine deep bedding - No mixing **0,01 kgN-N_2O/kgNex**	*Emissions traitées dans la section « Sols agricoles – 3D »*
Autres bovins					
Porcins					
Caprins					
Ovins					
Chevaux					
Mules et ânes					
Poules pondeuses	Poultry manure without litter **0,001 kgN-N_2O/kgNex**		Poultry manure with litter **0,001 kgN-N_2O/kgNex**		
Autres volailles					
Lapines reproductrices	Liquid/Slurry without natural crust cover **0 kgN-N_2O/kgNex**		Solid storage **0,01 kgN-N2O/kgNex**		

Pour les effluents méthanisés, le Giec 2019 donne un facteur d'émission à 0,0006 kg N-N_2O/kg N excrété.

Les émissions indirectes liées à la volatilisation sont calculées selon l'équation 10.28 des lignes directrices du Giec 2019 [1229] :

$$N_2O_{indirectes_volat} = N_{volatilisation} \times FE_4 \times \frac{44}{28}$$

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 NH_3 et du NOx correspond à la somme des émissions suivantes :

$$N_{volatilisation} = N\text{-}NH_{3_{Bâtiment}} + N\text{-}NH_{3_{Stockage}} + N\text{-}NO_{X_{Stockage}}$$

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].

$$N_2O_{indirectes_lixiv} = N_{lixiv} \times FE_5 \times \frac{44}{28}$$

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/EEA 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 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 émissions de NOx (NO exprimé en équivalent NO_2), sont calculées comme suit :

$$NO_2 = \left(TAN_{\text{stock_liquide}} \times FE_{\text{stockage_NOliquide}} + TAN_{\text{stock_solide}} \times FE_{\text{stockage_NOsolide}}\right) \times \frac{46}{14}$$

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 2023 (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 COVNM

Selon le guide EMEP 2023 [1338], la majorité des COVNM émis par l'élevage serait composée d'isopropanol, de n-propanol, d'acétaldéhyde et d'acides carbonés à chaînes courtes (acide acétique, acide propionique, acide butanoïque).

La méthode suivie correspond à la méthode de niveau 2 du guide EMEP 2023 [1338]. Cette méthode de calcul prévoit 6 postes d'émissions : le silo, l'aire d'alimentation, le bâtiment, le stockage, l'épandage, le pâturage ou le parcours.

On a donc :

$$COVNM_{\text{totaux}} = COVNM_{\text{silo}} + COVNM_{\text{alimentation}} + COVNM_{\text{bâtiment}} + COVNM_{\text{stockage}} + COVNM_{\text{épandage}} + COVNM_{\text{pâture}}$$

Avec :
- $COVNM_{silo} = Frac_{silage_store} \times COVNM_{alimentation}$
- $COVNM_{alimentation} =$
  - Pour les bovins : $EB \times \%\,bâtiment \times (FE_{alimentation} \times Frac_of_max_{silage})$
  - Pour les autres animaux : $SV \times \%\,bâtiment \times (FE_{alimentation} \times Frac_of_max_{silage})$
- $COVNM_{bâtiment} =$
  - Pour les bovins : $EB \times \%\,bâtiment \times FE_{bâtiment}$
  - Pour les autres animaux : $SV \times \%\,bâtiment \times FE_{bâtiment}$
- $COVNM_{stockage} = COVNM_{bâtiment} \times \left(\frac{NH3_{stockage}}{NH3_{bâtiment}}\right)$
- $COVNM_{épandage} = COVNM_{bâtiment} \times \left(\frac{NH3_{épandage}}{NH3_{bâtiment}}\right)$
- $COVNM_{pâture} =$
  - Pour les bovins : $EB \times (1 - \%\,bâtiment) \times FE_{pâture}$
  - Pour les autres animaux : $VS \times (1 - \%bâtiment) \times FE_{pâture}$

Le calcul des **énergies brutes (EB)** pour les bovins est présenté en section « Fermentation entérique – 3A ». Le calcul des **solides volatiles (SV)** pour les autres animaux est présenté dans la présente section, au niveau du paragraphe sur les émissions de CH_4.

Les **facteurs d'émission (FE)** utilisés sont ceux proposés par défaut dans le guide EMEP / EEA 2023 [1338].

Le paramètre **%bâtiment** correspond à la part du temps passé au bâtiment par l'animal. Le calcul de ce paramètre est décrit en section « Agriculture | Introduction ».

Le paramètre **$Frac_{silage_store}$** prend la valeur par défaut proposée dans le guide EMEP / EEA 2023 [1338] représentant les conditions européennes : 0,25.

Le paramètre **$Frac_of_max_{silage}$** correspond à la part d'ensilage dans la ration au bâtiment, sur la proportion maximale d'ensilage possible. En pratique, la proportion maximale d'ensilage dans la matière sèche est d'environ 50 % de l'apport total en matière sèche, ce qui correspond à la valeur par défaut EMEP. Si l'alimentation en ensilage est dominante, ce paramètre doit être égal à 1. Les sources mobilisées pour estimer ce paramètre varient selon la catégorie animale concernée :

- Pour les vaches laitières : deux publications sur la part des différents fourrages composant 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]. Ces rations sont présentées en section « Agriculture | Introduction ». En 2007, la part d'ensilage d'herbe et de maïs dans la ration est estimée à 42 %, ce qui correspond à un $Frac_of_max_{silage}$ de 84 %. En 2018, la part d'ensilage d'herbe et de maïs dans la ration est estimée à 60 %, ce qui correspond à un $Frac_of_max_{silage}$ de 100 % car l'ensilage est dominant. Le $Frac_of_max_{silage}$ 2007 est utilisé pour la période 1990-2007, celui de 2018 à partir de 2018. Les données sont interpolées entre ces années.
- Pour les autres bovins : ce paramètre est estimé à partir des résultats tirés d'une étude réalisée en 2012 par l'Institut de l'Elevage pour le CIV (Centre d'Information des Viandes) [657]. Dans ces données du CIV, des informations sont fournies concernant la catégorie "herbe conservée", sans connaitre la répartition foin/ensilage. Pour avoir cette distinction, la publication de Devun et al [1259] a été utilisée. Sont ensuite sommées les parts d'ensilage d'herbe et de maïs pour obtenir la part totale d'ensilage. Celle-ci est estimée à 32 % en bovins viande, ce qui correspond à un $Frac_of_max_{silage}$ de 65 %, et à 52 % en bovins lait, ce qui correspond à un $Frac_of_max_{silage}$ de 100 %. Ces paramètres sont constants dans le temps. La valeur bovins lait est attribuée aux sous-catégories laitières (hors vaches laitières), la valeur bovins viande est attribuée aux sous-catégories nourrices et boucheries. Pour les animaux de moins d'un an, la moyenne bovins lait et viande est considérée. Pour les veaux de boucherie, le $Frac_of_max_{silage}$ est considéré nul.
- Pour les chèvres : ce paramètre est estimé à partir du document de l'IDELE [983] qui fournit des rations et permet d'estimer l'azote excrété. La part de maïs ensilage considérée est de 14 %, soit un $Frac_of_max_{silage}$ de 28 %. Cette valeur est maintenue sur la période. Pour les autres caprins, le $Frac_of_max_{silage}$ est considéré nul.
- Pour les ovins : ce paramètre est estimé à partir du document de l'IDELE sur l'alimentation des ovins [961] qui fournit la part d'ensilage de maïs et d'herbe conservée pour les systèmes lait et allaitant. Pour connaître la répartition foin/ensilage au sein de la catégorie « herbe conservée », la publication de Devun et al [1259] a été utilisée. Sont ensuite sommées les parts d'ensilage d'herbe et de maïs pour obtenir la part totale d'ensilage. Celle-ci est estimée à 12 % en ovins lait, ce qui correspond à un $Frac_of_max_{silage}$ de 24 %, et à 14 % en ovins viande, ce qui correspond à un $Frac_of_max_{silage}$ de 28 %. Ces paramètres sont constants dans le temps. La valeur ovins lait est attribuée aux brebis laitières, la valeur ovins viande aux brebis allaitantes, et la valeur moyenne est utilisée pour la catégorie « autres ovins ». Pour les agnelles, les valeurs ovins lait et

viande sont pondérées au prorata des effectifs différenciés entre les agnelles laitières et allaitantes fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007.

- Pour les autres animaux : le $Frac_of_max_{silage}$ est considéré nul.

Ainsi, les émissions sont dépendantes de la quantité d'énergie brute ingérée pour les bovins, et des SV excrétés pour les autres animaux, au silo, à l'aire d'alimentation, au bâtiment, et au pâturage. Les émissions à l'épandage et au stockage sont supposées corrélées aux émissions de NH_3 et les mêmes ratios entre émissions au bâtiment et au stockage d'une part et entre émissions au bâtiment et à l'épandage d'autre part sont utilisés pour calculer les émissions de COVNM à ces postes.

Important : les émissions de COVNM liées à l'alimentation, au silo, au bâtiment et au stockage sont rapportées par catégorie animale dans la section « Gestion des déjections animales - 3.B ». Les émissions de COVNM de l'épandage et la pâture sont rapportées dans la section « Sols agricoles – 3D ».

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 193 : 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 172 : Suivi de l'azote en gestion liquide

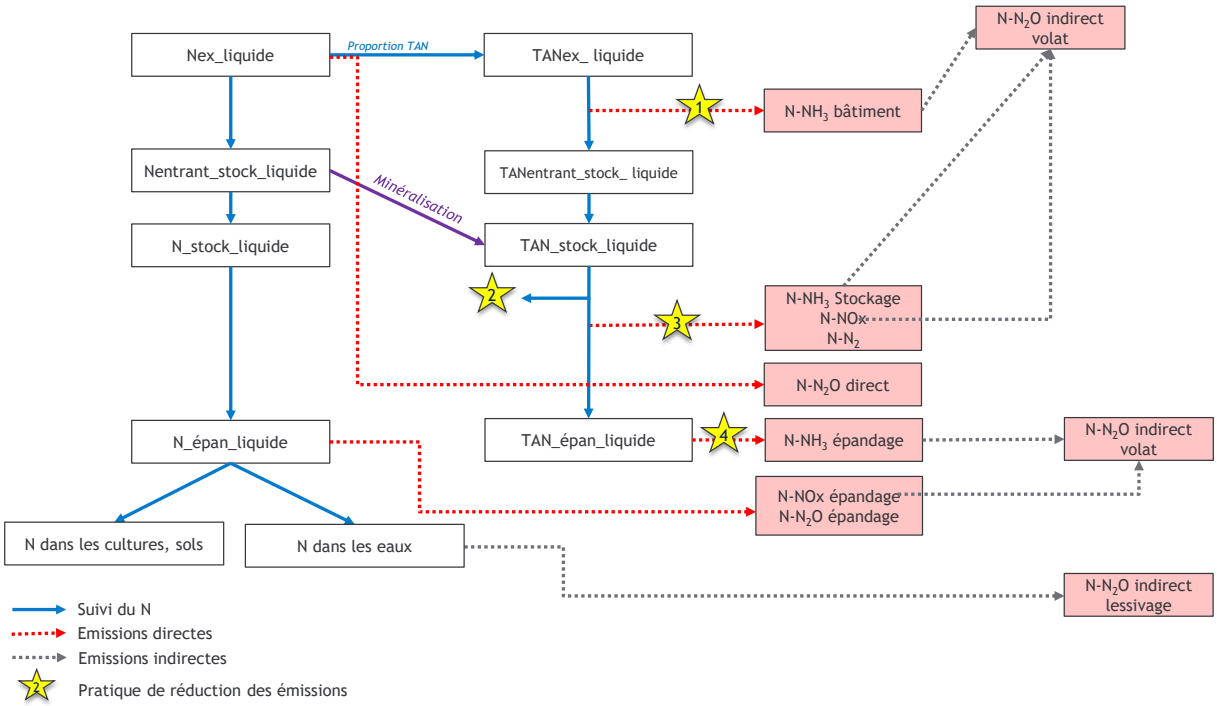
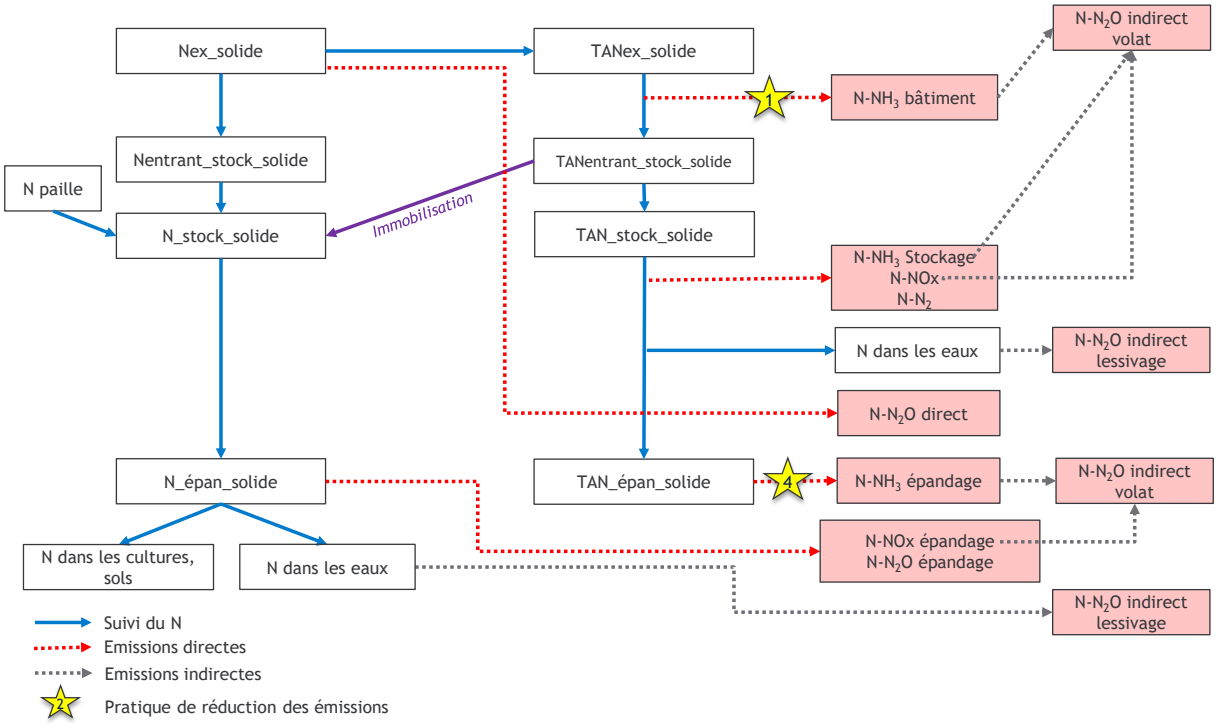


Figure 173 : Suivi de l'azote en gestion solide



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 174 : Suivi de l'azote en gestion liquide avec méthanisation

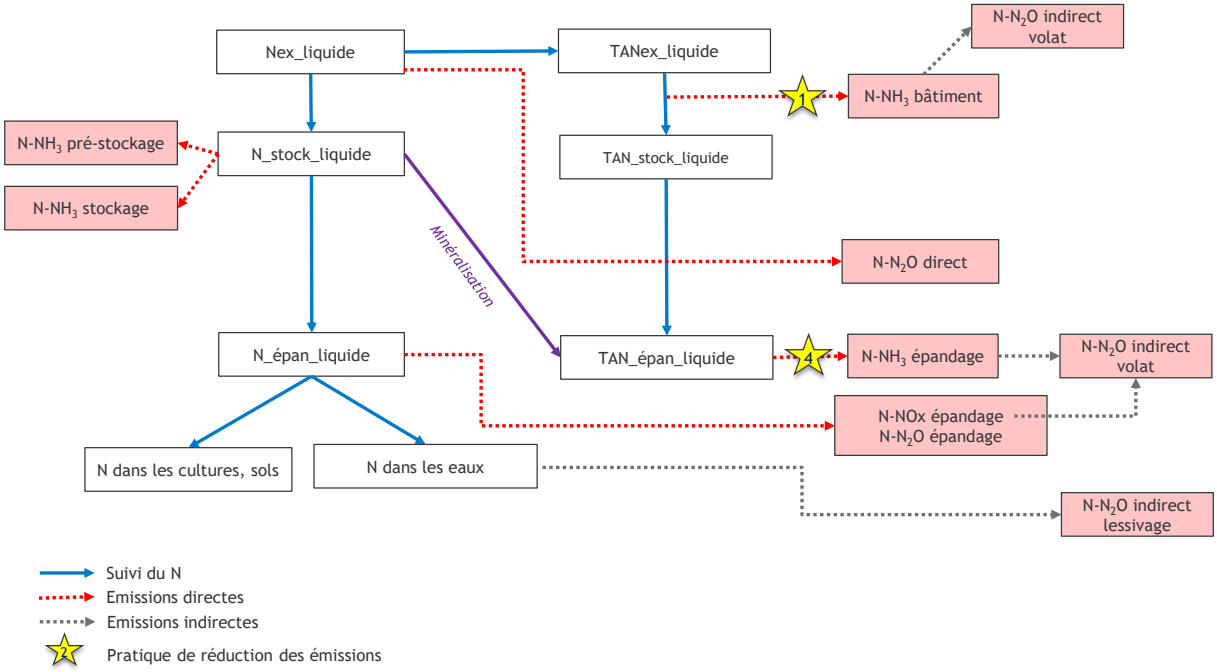
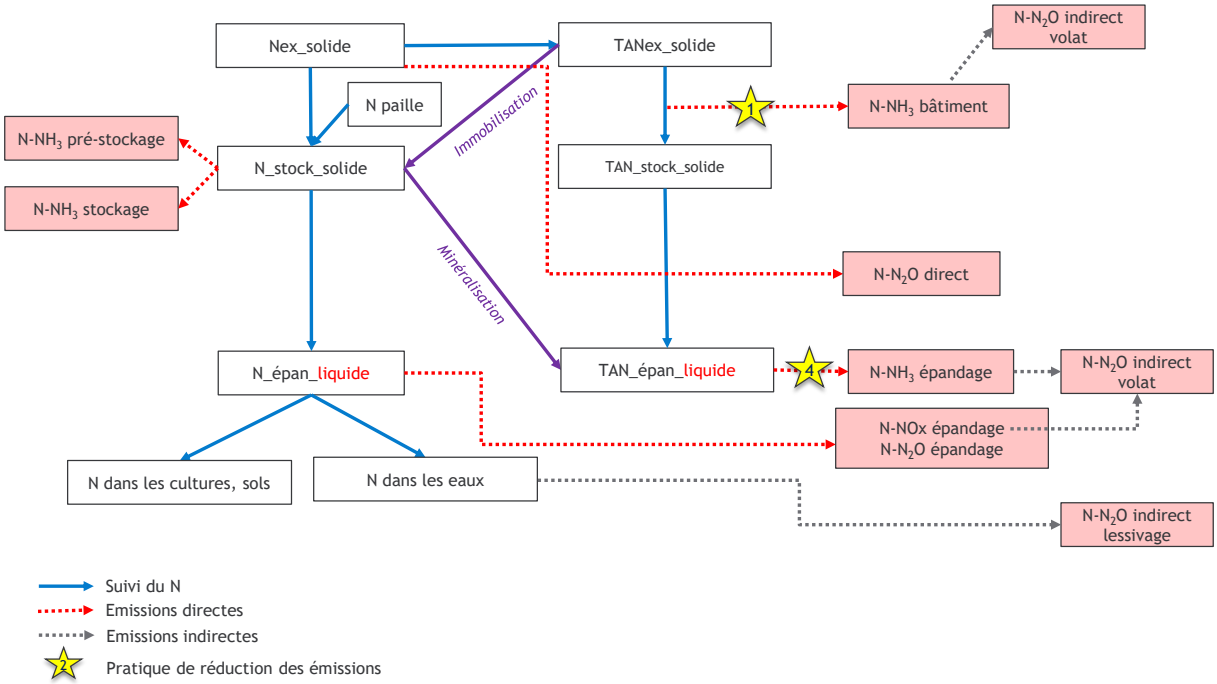


Figure 175: Suivi de l'azote en gestion solide avec méthanisation



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].

Tableau 194 : 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

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;
$\mathrm{F}A_{Air}$: 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 1990-2024.

Tableau 195 : Facteurs d'émission de N-NH3 au bâtiment

Catégorie animale		FE N-NH3 Liquide (kg N-NH3/TAN_{ex})	FE N-NH3 Solide (kg N-NH3/TAN_{ex})
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

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 : $\mathrm{TAN}_{\mathrm{stock\ i}} = \mathrm{TAN}_{\mathrm{entrant_stock\ i}} + \left(\mathrm{N}_{\mathrm{entrant_stock\ i}} - \mathrm{TAN}_{\mathrm{entrant_stock\ i}}\right) \times \mathrm{F}_{\mathrm{min}}$ ***(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 $\mathrm{TAN}_{\mathrm{stock}}$ de chaque catégorie porcine, pour chaque région, aux quantités nationales de $\mathrm{TAN}_{\mathrm{stock}}$ pour l'ensemble de la catégorie porcine. Cette estimation est une première approximation qui pourra être améliorée par la suite.

$$\mathrm{Frac}_{reg,\,animal} = \frac{\mathrm{TAN}_{stock\ reg,\,animal}}{\mathrm{TAN}_{stock\ national,\,porcs}}$$

Avec : $\mathrm{TAN}_{stock_{reg,\,animal}}$ *: quantité d'azote ammoniacal au stockage pour l'animal concerné, pour la région concernée ;*
$\mathrm{TAN}_{stock\ national,\,porcs}$*: 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 : $\mathrm{TAN}_{\mathrm{stock\ i}} = \left\{TAN_{entrant_stock\ i} + (N_{entrant_stock\ i} - TAN_{entrant_stock\ i}) \times F_{min}\right\} - N_{resorb} \times \mathrm{Frac}_{reg,\,animal}$ ***(équation b)***

Avec : N_{resorb} *= Quantité d'azote résorbée au niveau national, toutes catégories porcines confondues (kgTAN/an) ;*
$\mathrm{Frac}_{reg,\,animal}$ *= 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 196 : 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

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 2023, à partir de l'équation suivante. Le calcul détaillé est situé à la section « Emissions de NOx ».

$$\text{N-NO}_X = \text{TAN}_{stock\ i} \times \text{FE}_{NO}$$

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 N_2O liées à la lixiviation. D'après la méthodologie EMEP 2016, 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 :	$\text{TAN}_{stock_liquide} = \text{TAN}_{ex_liquide} - \text{N-NH}_{3_{Bâtiment_liquide}}$ $\text{N}_{stock_liquide} = \text{N}_{ex_liquide} - \text{N-NH}_{3_{Bâtiment_liquide}}$
Solide :	$\text{TAN}_{stock_solide} = \text{TAN}_{ex_solide} - \text{N-NH}_{3_{Bâtiment_solide}} - \text{Paille} \times \text{F}_{imm}$ $\text{N}_{stock_solide} = \text{N}_{ex_solide} - \text{N-NH}_{3_{Bâtiment_solide}} + \text{Paille} \times \text{T}_{MS\ paille} \times \text{T}_{N\ paille}$

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-NH_3 au pré-stockage = 0,0009 kg N-NH_3/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-NH_3 au stockage = 0,0266 kg N-NH_3/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 :

$$TAN_{epan_liquide_metha} = \sum_i \left\{TAN_{stock\ i} - \left(N\text{-}NH_{3\ pré\text{-}stockage\ i} + N\text{-}NH_{3\ stockage\ i}\right) + \left(N_{stock\ i} - TAN_{stock\ i}\right) \times F_{min}\right\}$$

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 :

$$N_{epan_liquide_metha} = \sum_k \left\{N_{stock\ k} - \left(N\text{-}NH_{3\ pré\text{-}stockage\ k} + N\text{-}NH_{3\ stockage\ k}\right)\right\}$$

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 (2021-2024) 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 2021-2024 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 <u>matériels</u> utilisés proviennent de la guidance UNECE [809] ;
- Les facteurs d'abattements liés aux <u>délais d'incorporation après épandage</u> 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 197 : 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 198 : 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
* 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.

Tableau 199 : 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

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 200 : Comparaison des SV – MONDFERENT I et II / Giec 2019

	SV MONDFERENT		SV estimé à partir du Giec 2019		Variation MONDFERENT/Giec 2019 (%)	
	1990	2024	1990	2024	1990	2024
Vaches laitières	4,6	6,7	4,4	5,9	5%	13%
Vaches nourrices	2,9	2,9	3,4	3,4	-16%	-16%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,2	2,2	19%	20%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	2,2	2,2	2,5	2,5	-12%	-12%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,2	2,1	19%	19%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,6	2,6	-3%	-3%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,9	2,9	-11%	-11%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	1,9	1,9	2,4	2,4	-22%	-22%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	1,8	1,8	2,5	2,5	-28%	-28%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	2,1	2,1	2,7	2,7	-24%	-24%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	2,3	2,3	2,6	2,6	-11%	-11%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	2,7	2,7	3,0	3,0	-8%	-8%
Veaux de boucherie	0,8	0,8	1,5	1,5	-45%	-45%
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 201 : Comparaison des Fex – MONDFERENT I et II / Giec 2019

	Fex nationaux		Fex estimé à partir du Giec 2019		Variation National/Giec 2019 (%)	
	1990	2024	1990	2024	1990	2024
Vaches laitières	104,2	118,7	107,8	135,9	-3%	-13%
Vaches nourrices	107,3	108,0	77,5	77,8	38%	39%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	69,6	69,0	67,4	67,2	3%	3%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	67,0	66,9	59,3	59,3	13%	13%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	50,1	49,6	51,9	51,8	-3%	-4%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	79,1	78,5	80,1	79,9	-1%	-2%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	77,8	77,7	68,6	68,6	13%	13%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	53,5	53,2	71,2	71,1	-25%	-25%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	51,1	51,1	58,0	58,0	-12%	-12%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	40,7	40,5	61,6	61,5	-34%	-34%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	57,8	57,6	74,9	74,8	-23%	-23%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	56,4	56,2	67,2	67,1	-16%	-16%
Veaux de boucherie	12,6	12,6	55,4	55,6	-77%	-77%
Autres femelles de moins de 1 an	26,5	26,8	45,6	45,7	-42%	-41%
Autres mâles de moins de 1 an	27,6	27,6	39,6	39,7	-30%	-31%
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	2024
Ancien	kt CO2e	10 645	10 763	11 446	11 308	11 316	10 906	10 149	9 895	9 560	9 198	0
Nouveau	kt CO2e	10 655	10 771	11 455	11 317	11 326	10 917	10 170	9 915	9 579	9 206	9 127
Différence	kt CO2e	+9,3	+8,3	+8,7	+9,5	+11	+11	+21	+20	+19	+8,4	+9 127
	%	+0,1%	+0,1%	+0,1%	+0,1%	+0,1%	+0,1%	+0,2%	+0,2%	+0,2%	+0,1%	-

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /3.B

Des recalculs à un niveau CRT plus fin sont disponibles en annexe électronique dans le fichier « Recalculs-d.xlsm ».

Description du recalcul

L'ajustement de certains paramètres du modèle pour estimer le facteur d'émission de méthane entérique et le VS des vaches laitières entraine une légère hausse du VS pour les vaches laitières sur la période (calcul de l'énergie associée aux interactions digestives, répartition du rendement laitier entre primipare et multipare). En fin de

période, la mise à jour de la répartition des sous-catégories porcines (à partir de 2020) entraine également une révision à la hausse des émissions de CH_4. Cette hausse en fin de période est légèrement contrebalancée par un recul des émissions de N_2O des petits animaux, en lien avec le développement de la méthanisation, à la fois pour les émissions directes et indirectes de N_2O.

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 2025, 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	Agriculture (5.A.2, 2025) 3.B Manure management – CH4, N2O	The Party applied the same manure management system (MMS) distribution as used for metropolitan France in France's Overseas Territories. The TERT considers that this practice does not fully adhere to 2006 IPCC Guidelines which highlights the importance of regional disaggregation in countries with diverse climatic zones, livestock production systems, or manure management practices, which is clearly the case for France given its overseas territories' differing climatic and agricultural contexts. During the review, the Party provided additional information indicating that there are ongoing efforts to improve estimates of MMS distributions in France's Overseas Territories, including studies undertaken by Citepa and local experts. The TERT notes the Party's recognition of current data limitations and its consideration of IPCC regional defaults as a potential, though not yet adopted, alternative. The TERT recommends the Party to: - Collect region-specific MMS data for overseas territories that remain within the scope of national reporting (La Réunion, Guadeloupe, Martinique, Mayotte, and French Guiana); - Explore interim solutions, such as the adoption of IPCC regional defaults for MMS where national data are unavailable, to enhance accuracy, comparability, and methodological transparency	2025 Draft BTR review report	There are 11 overseas territories in France ('DROM' and 'PTOM'). Collecting region specific MMS for each of these territories would be the best approach but is very time consuming and resource intensive considering the level of emissions of these territories for 3B. So far one MMS is applied for all territories. Separating the calculus for 11 territories with default IPCC MMS was not implemented this year due to a lack of time. We will implement this recommendation in future submissions. Lack of time

Agriculture	Agriculture (5.A.3, 2025) 3.B Manure management – CH4, N2O	The Party reported the existence of manure composting as national practice for poultry litter and solid manure but does not report this as a separate manure management system and reports IE in CRT table 3.B(b). The Party also indicated that manure composting is included under "solid storage" or "other" MMS categories. Lack of separation reduces comparability with other countries and limits transparency. During the review, the Party explained that while composting of manure is practiced in France, it is not currently reported as a distinct MMS due to the lack of disaggregated data and methodological challenges identified by national experts. The Party also indicated that attempts were made to engage with the national composting federation but has not yet received a response. The TERT recommends that the Party intensify efforts to obtain data or expert judgment on the scale and characteristics of manure composting in France and France's Overseas Territories in the EU and report composting as a separate category in accordance with the 2006 IPCC Guidelines and apply Tier 1 default values or proxies as an interim approach until national data become available.	2025 Draft BTR review report	Data on on-farm composting of manure is still lacking in France. The issue remains in our improvement plan. Lack of data.
Agriculture	Agriculture (5.A.4, 2025) 3.B Manure management – CH4	The Party indicated partial or incomplete regional input supply data for methanizers which affects national inventory as temporal changes, evolving supply are not captured. The Party also indicated that the input quantities, types, size, feedstock mix, and technology varied widely. During the review, the Party indicated enhanced reporting in the 2025 submission was initiated, particularly the incorporation of regional data from the SINOE database (2017–2023) and the refinement of input categories to better characterize nitrogen content in digestates. The Party's indicated increased efforts to explore additional sources, including the SEAMETHA database and research projects such as Concept-Dig, to improve estimates and assess the feasibility of further disaggregation (e.g., by digester type, size, and technology). The TERT therefore, encourages the Party to improve time series consistency by clearly outlining the specific steps and timeline for acquiring the necessary references and data to support the anaerobic digestion models, this should include an explanation of how the models	2025 Draft BTR review report	France collects annually the best up to date data on input quantities of manure and other feedstock to anaerobic digester from year 2020 on, based on publicly available data in France, generally published at regional level by DREAL or ADEME. These data are derived from annual procurement plans reported by farmers at regional level. The exact data has been asked to the regional authorities but is confidential at a more disaggregated level than the one already published online (for instance here : https://aile.asso.fr/biogaz/la-filiere/carte-chiffres-cles-methanisation/). Anyways, the only existing data refers to "annual procurement plans" which is different from the exact input mix to farm digesters since farm, climate or economic conditions can prevent the farmer from accessing desired quantities

		account for temporal changes, evolving supply plans, and potential technical contingencies.		of material to produce biogaz. The annual expert group on agricultural inventories in 2025 as raised more attention on the question of TAN content of the digestate linked to NH3 emissions at post-storage and application phases, with very limited indirect effect on nitrous oxide emissions. For these reasons, France considers that the current methodology to account for methane emissions from digesters in CRT code 3B is in line with UNFCCC requirements. Considering that the methodology detailed in the NID is already using best publicly available data for input mix and was validated by national experts from the annual agricultural inventory group, it is unclear how further refinement of the methodology would lead to a better estimate of emissions from 3B.

Suite à la revue CCNUCC 2025, 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	FR-3B-2025-0001 3B Manure Management, CH4, N2O, 1990-2023	For category 3B Manure Management CH4 and N2O for the years 1990-2023 the TERT noted that from 2022 to 2024 TERT encouraged France to work on the improvement of accuracy of data and emissions from composting in agriculture. This year, TERT observed the type of information (notation key 'IE') reported by France remains unchanged for composting MMS compared to last year submission. The TERT notes that this issue does not relate to an over- or under-estimate of emissions. In response to a question raised during the review, France explained that this issue has been raised at the annual expert group on agricultural inventories in France and it was found that no data or research estimate seems to be readily available on agricultural composting yet. The TERT recommends that France to report any progress on this category in the NID to improve the accuracy of the data and emissions.	ESR review report 2025	Data on on-farm composting of manure is still lacking in France. The issue remains in our improvement plan for next submissions.

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 dans les années à venir.

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 a été réuni fin 2025 et les travaux devront se poursuivre en 2026.

Le travail d'amélioration de la prise en compte de la méthanisation va se poursuivre ces prochaines années, notamment en explorant la possibilité d'intégrer les émissions de CH_4 de la méthanisation des co-digestats, comme mentionné dans le Raffinement 2019 du Giec. Ces émissions sont en cours d'estimation et pourraient être intégrées dans la soumission 2027, sous la catégorie 3J Autres.

Le travail va également se poursuivre pour améliorer 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 13 227 ha en 2024 ; à environ 250 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 France hexagonale

Le facteur d'émission EFc, est issu des lignes directrices [1229], chapitre 5. Pour la France hexagonale, 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 France hexagonale 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 hexagonale, 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 128,6 kg CH_4/ha/an en 2024.

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 202. Récapitulatif des paramètres utilisés pour le calcul des facteurs d'émission du riz*

	Provence-Alpes Côte d'azur	Occitanie	Mayotte	Guyane	
				1990-2006	2007-2024
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 (kgCH_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 203. Surfaces de riziculture pour la France hexagonale, la Guyane et Mayotte

	France hexagonale (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	1 401	28	23 156
2012	20 730	1 352	25	22 107
2013	19 008	1 353	22	20 383
2014	14 981	1 594	19	16 594
2015	14 567	1 355	16	15 938
2016	15 000	1 405	13	16 418
2017	15 310	1 480	13	16 803
2018	12 470	407	13	12 890
2019	14 337	308	13	14 658
2020	14 045	259	13	14 317
2021	12 022	259	6	12 287
2022	11 506	250	6	11 762
2023	11 861	250	6	12 117
2024	13 227	250	6	13 483

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	2024
Ancien	kt CO2e	76	107	90	83	80	56	52	45	43	44	0
Nouveau	kt CO2e	76	107	90	83	80	55	51	44	42	43	48
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	-0.49	-0.98	-0.98	-0.95	-0.95	+48
	%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	-1.89%	-2%	-2%	-2%	-

Source Citepa / mars_2026 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, les surfaces rizicoles en Outre-mer ont été révisées depuis 2011.

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 2 % des surfaces en riz de la France en 2024. De même, certains paramètres utilisés pour la France hexagonale 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 2024.

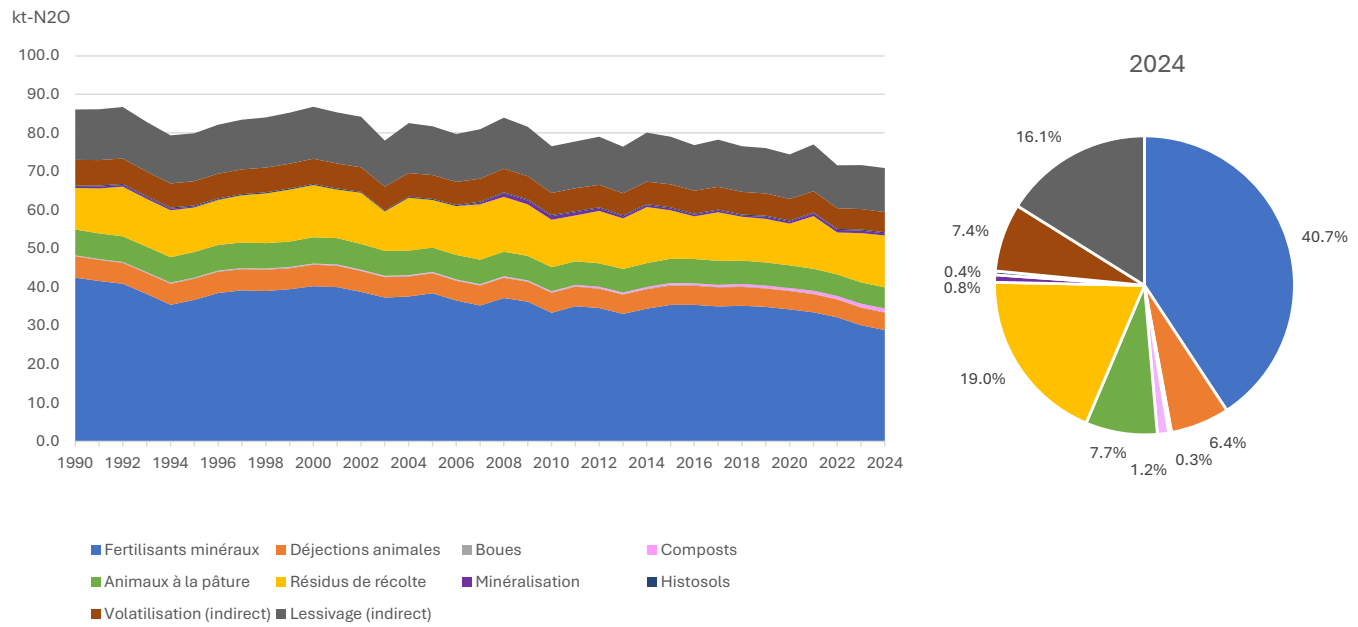


Figure 176 : Évolution et répartition des émissions de N_2O (kt) des sols agricoles (Périmètre UE)

Les émissions de N_2O des sols agricoles ont diminué de 18 % sur la période 1990-2024, cette baisse se retrouvant principalement au niveau des fertilisants minéraux (- 31 % des émissions de N_2O des fertilisants minéraux entre 1990 et 2024) en lien avec le recul des apports minéraux.

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

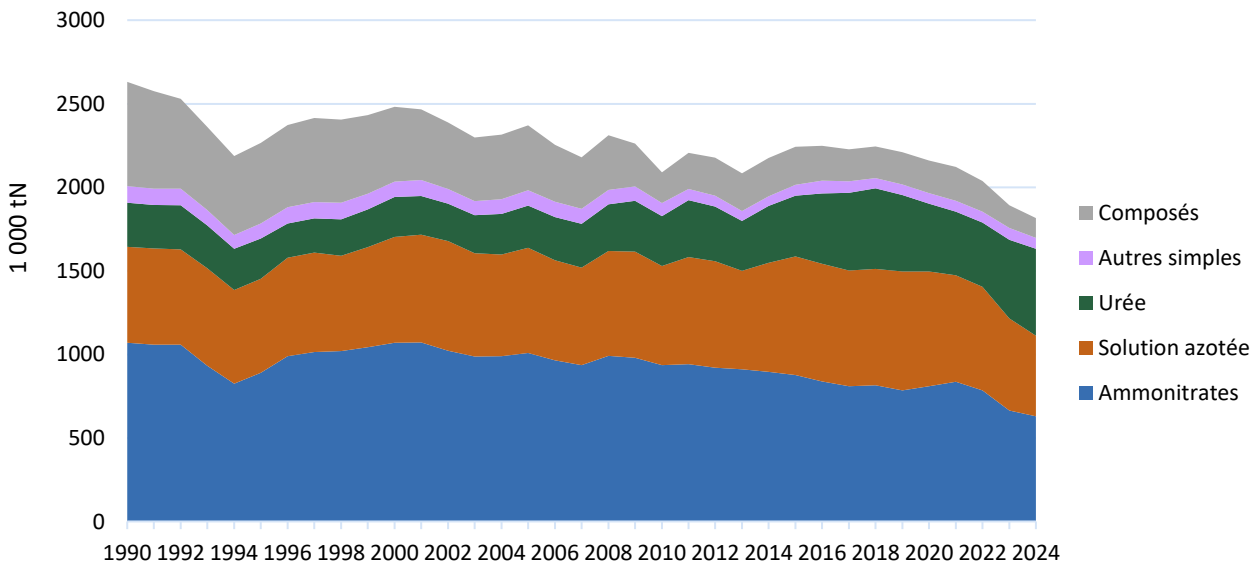
Les sols cultivés reçoivent des quantités d'azote provenant de différentes origines. Les intrants considérés comprennent des fertilisants minéraux, des résidus de culture, des déjections animales, des boues de stations de traitement des eaux usées, du compost et du digestat issu de la méthanisation. Chaque source est décrite ci-dessous.

5.5.1.1 Livraisons d'azote minéral

L'azote contenu dans les fertilisants minéraux en France hexagonale 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).

$$\text{Apport N min}\acute{e}ral\ 2021 = \frac{livraisons\ 2019/2020 + livraisons\ 2020/2021}{2}$$

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).



Graph_OMINEA_2026.xlsx/Engrais

Figure 177 : Moyenne lissée sur deux campagnes des quantités d'azote livrées issues des engrais minéraux épandus en France hexagonale (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 :

$$\text{Intrants} = \sum_i \text{Surface_i} \times \text{Fertilisation_i}$$

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 204. 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 ».

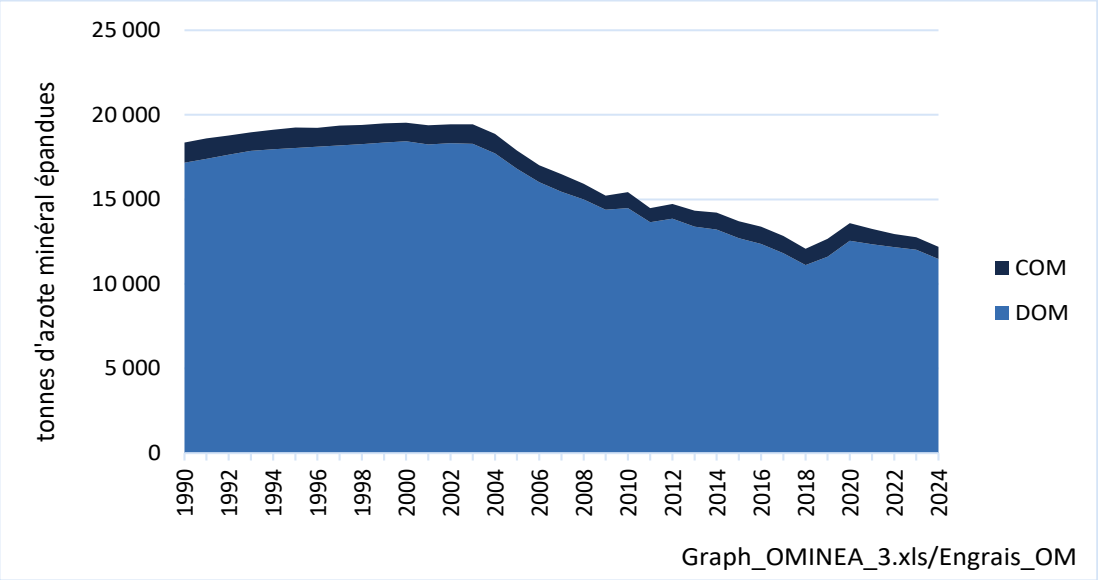


Figure 178 : Quantités d'azote issues des engrais minéraux épandues en Outre-mer (tN)

5.5.1.2 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 ».

5.5.1.3 Imports d'azote des pays frontaliers

Les quantités d'azote contenues dans les déjections importées provenant des pays frontaliers à la France hexagonale (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.

5.5.1.4 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 France hexagonale 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 France hexagonale, appliqué aux surfaces des territoires d'Outre-mer.

5.5.1.5 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.

5.5.1.6 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 ».

5.5.1.7 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 hexagonale. 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.

5.5.1.8 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 :

$$N\text{-}N_2O_{directes} = N\text{-}N_2O_{entrées} + N\text{-}N_2O_{SO} + N\text{-}N_2O_{PPP}$$

$N\text{-}N_2O_{SO}$= 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 hexagonale, 50.7 % du territoire se situe en climat humide et 49.3 % en climat sec selon la méthodologie du Giec [1229] (cf. section « Agriculture | Introduction »).

Emissions de N_2O des engrais minéraux : N-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 à la commune établie dans la section « Agriculture | Introduction – Clé de répartition infranationale des apports d'azote minéraux ».

$$\mathrm{N} - N_2O_{SN} = \sum_c F_{SN_c}.\{s_c.FE_{1humide+}\,(1 - s_c).FE_{1sec}\}$$

Avec : *A_d : apports d'engrais minéraux dans la commune c ;*

s_c : % des surfaces de la commune c 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 1,002 % en 2024. Celui-ci est variable dans le temps bien qu'il reste proche du niveau 2024 (variation sur la période min-max : 0,990 % - 1,020 %).

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 hexagonale, 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 très peu sur la période (0,5646 % - 0,5658 %).

Pour le reste des apports (déjections importées, résidus de culture, boues, composts, digestats, minéralisation en lien avec les pertes de carbone), 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 2024 sont reportés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 205. Facteur d'émission des émissions de N_2O (kgN-N_2O/kgN) pour 2024

source azote	FE1	
	France hexagonale	Outre-Mer
N engrais minéraux	1,002%	1,6%
N résidus de culture	0,551%	0,6%
N compost	0,551%	0,6%
N boues	0,551%	0,6%
N déjections épandues – produites en France	0,566%	0,6%
N déjections épandues – importées	0,551%	/
N minéralisé en lien avec la perte de carbone des terres cultivées	0,551%	/

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 (France hexagonale)
- les prairies organiques en climat tempéré (France hexagonale),
- 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 France hexagonale, 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 France hexagonale (Base de données des inventaires des tourbières en France hexagonale [1202]) ou pour la Guyane [720]. Ces cartes sont croisées avec le modèle de suivi des terres spatialement explicite Citepa pour la France hexagonale 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 206. Facteurs d'émission des histosols cultivés - kg N-N_2O/ha/an - source : IPCC (2013) [1193]

	Cultures	Prairies	Moyen*
France hexagonale	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 :

$$\mathrm{N}\text{-}N_2O_{PPP} = F_{PPP,BVS} \times FE3_{PPP,BVS} + F_{PPP,MA} \times FE3_{PPP,MA}$$

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 2024, il vaut 0,445 %.

Les émissions de N-N_2O directes sont converties ensuite en N_2O de la façon suivante :

$$N_2O_{directes} = N\text{-}N_2O_{directes} \times 44/28$$

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] :

$$N\text{-}N_2O_{DAT} = [(F_{SN} \times Frac_{GAZE}) + ((F_{ON} + F_{PPP}) \times Frac_{GAZM})] \times FE_4$$

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, pâture, résidus) 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, celles liées aux animaux à la pâture ainsi que celles associées aux résidus laissés au champ plus de trois jours, 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) / $F_{digestat}$
- $Frac_{GAZrésidus}$ = (N-NH_3_résidus) / $F_{résidus}$

<u>Rappel</u> : 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 France hexagonale et DOM (périmètre UE) :

Tableau 207 : 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	2024
FracGAZE	Azote minéral épandu	9.2%	8.8%	9.0%	9.3%	9.1%	9.2%	9.6%	9.8%

FracGAZdéjections	Déjections animales épandues, produites et importées	15.2%	15.2%	14.7%	13.7%	13.7%	13.6%	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%	9.4%
FracGAZboues	Boues épandues	11.9%	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%	7.8%
FracGAZdigestats	Digestats épandus	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%
FracGAZrésidus	Résidus laissés au champ plus de 3 jours	3.8%	3.9%	3.9%	4.1%	3.9%	3.9%	4.0%	4.0%

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 France hexagonale, selon les types d'apports, la pondération des facteurs d'émissions sec et humide est faite à différents niveaux :

- Pour les engrais minéraux : ces derniers sont répartis à la commune, par forme, pH et climat. Cela permet ainsi de pondérer les facteurs d'émissions sec et humide selon la volatilisation estimée en NH_3 et NOx.
- 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, résidus) : la pondération est faite au prorata des surfaces agricoles nationales par climat.

On obtient, pour l'ensemble de ces apports, un FE_4 qui varie sur la période, légèrement inférieur à 1%. Pour l'Outre-mer, le facteur pour le 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 de la commune, 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 la commune. 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 France hexagonale, 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 1990-2024.

Tableau 208: Azote apporté aux sols cultivés par source en France hexagonale (tonnes d'azote)

	Engrais minéraux	Déjections*	Pâture	Boues	Compost	Résidus	Digestat	Azote minéralisé en lien avec les pertes de C
1990	2 631 880	614 926	969 009	16 216	7 119	1 236 465	826	32 455
1991	2 576 401	608 559	959 427	17 085	7 238	1 338 884	826	50 174
1992	2 530 752	602 400	955 985	17 999	7 358	1 478 810	826	49 870
1993	2 361 418	603 705	950 616	18 963	7 479	1 423 850	826	46 295
1994	2 187 868	609 061	953 380	19 978	7 990	1 398 098	826	48 147
1995	2 264 988	614 069	960 202	21 048	8 537	1 320 938	826	25 255
1996	2 372 833	616 055	963 431	22 456	9 489	1 333 535	826	15 742
1997	2 414 800	611 865	956 077	23 863	10 364	1 403 647	826	1 480
1998	2 405 738	610 696	951 336	25 271	11 230	1 478 768	826	0
1999	2 432 969	606 436	953 491	23 687	13 572	1 544 841	826	0
2000	2 482 362	620 105	983 769	22 102	14 435	1 550 615	913	0

2001	2 466 649	616 110	990 884	20 518	15 617	1 444 128	913	0
2002	2 388 270	606 713	962 198	19 701	16 919	1 519 851	968	0
2003	2 299 057	590 972	934 002	18 884	18 327	1 173 758	1 082	0
2004	2 316 478	578 932	917 524	18 067	19 577	1 577 800	1 082	0
2005	2 371 148	575 578	908 933	18 246	20 815	1 419 394	1 109	0
2006	2 254 665	570 367	909 948	18 424	22 411	1 451 700	1 196	0
2007	2 180 591	578 280	915 670	18 603	23 207	1 643 386	1 285	48 155
2008	2 311 681	588 649	912 416	18 782	23 925	1 634 152	1 636	101 261
2009	2 262 011	577 124	909 569	18 960	24 856	1 534 225	1 783	112 670
2010	2 089 567	572 927	899 924	22 865	25 610	1 411 938	2 268	104 467
2011	2 206 362	566 732	880 161	21 401	30 028	1 365 291	3 513	95 230
2012	2 178 660	559 071	873 433	21 405	34 455	1 555 446	4 916	76 847
2013	2 084 375	557 586	880 746	18 603	35 964	1 505 861	6 372	60 191
2014	2 175 407	559 716	891 347	20 699	37 239	1 663 633	8 618	56 236
2015	2 242 286	557 446	898 218	25 849	38 882	1 450 187	10 833	55 391
2016	2 249 406	554 545	896 308	21 388	40 088	1 273 475	12 383	44 258
2017	2 227 375	547 264	885 518	23 343	41 979	1 448 245	14 312	50 877
2018	2 244 021	542 513	868 130	25 298	43 609	1 307 335	17 809	35 231
2019	2 210 706	536 322	851 945	20 698	42 704	1 299 338	23 282	62 340
2020	2 161 505	532 749	835 350	17 687	42 250	1 246 759	28 855	59 343
2021	2 122 155	525 746	815 395	20 335	39 491	1 571 689	38 985	77 275
2022	2 037 658	518 307	797 368	17 887	37 843	1 249 387	49 462	71 686
2023	1 892 919	508 667	787 953	25 165	37 993	1 462 950	60 323	74 804
2024	1 816 765	502 974	779 874	25 228	37 944	1 544 769	60 965	65 814

*produites et importées

Tableau 209: 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	6 770	4 352	0	27	9 236
1991	17 402	6 702	4 321	0	27	10 118
1992	17 638	6 446	4 083	0	28	11 393
1993	17 873	6 294	4 013	0	29	11 674
1994	17 952	6 245	4 049	0	32	11 504
1995	18 031	6 137	4 015	0	36	10 765
1996	18 111	6 586	4 538	0	40	10 670
1997	18 190	6 536	4 610	0	40	11 036
1998	18 270	6 522	4 599	0	45	11 621
1999	18 349	6 307	4 320	0	60	12 312
2000	18 429	6 841	4 796	0	67	12 513
2001	18 253	6 752	4 991	0	70	11 567
2002	18 317	6 678	4 846	0	73	11 919
2003	18 282	6 647	4 756	0	78	9 089
2004	17 715	6 539	4 505	0	83	12 466
2005	16 809	6 199	4 396	0	122	11 122
2006	16 011	6 139	4 477	0	162	11 991
2007	15 447	5 701	3 996	0	184	13 304
2008	14 996	5 830	4 044	0	207	12 815
2009	14 391	5 662	3 944	0	279	11 695
2010	14 489	5 411	3 806	0	352	10 685
2011	13 642	5 422	3 809	0	362	9 837
2012	13 849	5 365	3 804	0	372	11 200
2013	13 380	5 130	3 675	0	442	10 513
2014	13 223	5 141	3 698	0	513	10 526
2015	12 710	5 063	3 691	0	507	8 844
2016	12 368	5 088	3 689	0	501	7 638
2017	11 821	4 994	3 707	0	503	8 565

2018	11 108	4 996	3 631	0	505	7 542
2019	11 598	4 938	3 585	0	533	7 583
2020	12 552	4 888	3 381	0	561	7 422
2021	12 353	4 551	3 040	0	567	9 280
2022	12 174	4 442	2 922	0	573	7 375
2023	12 026	4 388	2 817	0	573	8 602
2024	11 467	4 454	2 825	0	573	8 982

Tableau 210: 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	4 231	3 802	0	0	16 763
1991	1 195	4 286	3 843	0	0	18 218
1992	1 137	4 178	3 753	0	0	20 357
1993	1 085	4 090	3 592	0	0	20 700
1994	1 157	4 002	3 414	0	0	20 352
1995	1 210	4 251	3 637	0	0	18 999
1996	1 119	4 195	3 645	0	0	18 756
1997	1 175	4 143	3 657	0	0	19 320
1998	1 127	4 092	3 650	0	0	20 263
1999	1 134	4 092	3 741	0	0	21 381
2000	1 111	3 896	3 462	0	0	21 644
2001	1 118	3 857	3 558	0	0	20 305
2002	1 112	3 836	3 543	0	0	21 287
2003	1 148	3 794	3 500	0	0	16 114
2004	1 149	3 830	3 536	0	0	20 958
2005	1 080	3 572	3 145	0	0	18 531
2006	1 011	3 222	2 745	0	0	18 445
2007	1 045	3 274	2 799	0	0	20 295
2008	913	3 334	2 783	0	0	19 227
2009	825	3 224	2 747	0	0	17 514
2010	937	3 155	2 706	0	0	15 595
2011	840	3 086	2 644	0	0	14 588
2012	884	2 910	2 600	0	0	16 030
2013	943	2 815	2 570	0	0	15 414
2014	991	2 979	2 743	0	0	16 923
2015	999	2 790	2 530	0	0	14 729
2016	1 010	2 657	2 357	0	0	12 879
2017	1 023	2 577	2 281	0	0	14 631
2018	970	2 590	2 241	0	0	13 406
2019	1 071	2 703	2 376	0	0	13 288
2020	1 031	2 626	2 225	0	0	12 843
2021	893	2 597	2 123	0	0	16 098
2022	782	2 689	2 192	0	0	12 708
2023	726	2 765	2 312	0	0	14 852
2024	726	2 769	2 344	0	0	15 798

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 COVNM

Aucune émission des sols eux-mêmes n'est estimée.

Les COVNM biotiques émis par la végétation sur les terres agricoles sont rapportées dans la catégorie NFR 3De « Cultivated Crops ». Ces émissions de COV biotiques sont estimées grâce au modèle COBRA (Composés Organiques de la Biomasse Rejetés dans l'Atmosphère) [92], développé par le Citepa, qui fait appel à diverses données pour caractériser l'activité de cette source [14, 292, 293] et dont les principaux éléments sont présentés ci-après.

Les algorithmes utilisés par le modèle COBRA appliquent l'équation suivante :

$$EM = e \cdot D \cdot S \cdot g$$

Avec : *EM : Émissions de COVNM par essence végétale ;*

e : Taux normalisé d'émission ;

D : Densité de feuillage ou coefficient de biomasse foliaire ;

S : Superficie recouverte par l'essence végétale ;

g : Facteur environnemental correctif (généralement lié à la température et à la luminosité)

Les paramètres sont expliqués ci-dessous de manière succincte. Pour le détail des calculs, se rapporter au rapport spécifique sur le modèle [92].

- Taux normalisé d'émission (e) : les valeurs mobilisées pour les sources non-forestières sont principalement issues d'Emep/Corinair 1996, à l'exception de trois sources : les céréales, les oléagineux et les vignes. Pour ces trois sources, des données provenant de mesures européennes (König et al, 1995) ont été utilisées.
- Densité de biomasse foliaire (D) : les valeurs mobilisées pour les sources non-forestières sont principalement issues d'Emep/Corinair 1996.
- Surfaces des peuplements (S) : les surfaces de cultures et de prairies par département sont issues de l'Agreste, statistiques agricoles [85] remises à jour annuellement.
- Facteur environnemental correctif (g) : les algorithmes utilisés pour calculer les flux d'émissions sont ceux de Guenther [294] qui tiennent compte de la température foliaire et indirectement du rayonnement.
    - La température foliaire est assimilée dans le cadre de cet inventaire à la température ambiante. Les données de températures sont issues du réseau de RENECOFOR (REseau National de suivi à des ECOsystèmes FORestiers) [293] de l'Office National des Forêts. Ce réseau est constitué d'un peu moins de trente stations de mesure de température réparties sur tout le territoire, de 1996 à nos jours. Il est complété à partir des moyennes de températures mensuelles éditées dans le CPDP [14] (valeurs de Météo France) de 1988 à 1995, grâce à une correspondance établie entre des mois de thermicité identique de la période 1996-2001. Ce qui signifie que ce sont des moyennes mensuelles de températures récentes, sélectionnées selon leur propriété à ressembler aux situations antérieures à 1996, qui ont été utilisées pour les années 1988 à 1996.
    - Le rayonnement est pris en compte sous la forme du PAR (Photosynthetically Active Radiation), utilisé dans l'équation de Guenther [294] qui correspond à une fraction du rayonnement global (RG) comprise entre 400 et 700 nm. Sa valeur est donc estimée selon PAR = 0,45 RG (Lambert [295]).

Le calcul des émissions suit donc un processus de type bottom-up spatio-temporel. Un module de calcul développé par le Citepa permet de déterminer les émissions par catégorie d'essence végétale, par mois, par département et pour les catégories de COVNM : isoprène (ISO), monoterpènes (MT) et autres COV (ACOV) [296].

À noter : le calcul des émissions des COVNM émis par l'élevage aux postes épandage, pâturage et parcours est décrit dans la section « Gestion des déjections animales - 3.B » mais celles-ci sont bien rapportées au sein des codes NFR liés aux sols agricoles (3Da2a épandage de déjections animales et 3Da3 pâturage).

Émissions de NH_3

Les émissions de NH_3 liées aux sols agricoles sont calculées de la façon suivante :

$$NH_{3\ sols} = \sum_{ij} (F_{SN\ ij} \times FE_{ij}) + NH_{3\ Epandage} + NH_{3\ Pâture} + F_{boues} \times FE_{boues} + F_{compost} \times FE_{compost} + F_{digestat} \times FE_{digestat} + F_{import\ déjections} \times FE_{déjections} + F_{résidus} \times FE_{résidus}$$

Avec : F_{SN_ij} *= quantité annuelle de N d'engrais synthétique i appliquée aux sols avec pH j (kgN/an) ;*

FE_i *= facteur d'émission de* NH_3 *associé à l'engrais i pour les sols avec un pH j (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) ;

$F_{résidus}$ = quantité annuelle de N des résidus de culture sujette à émission d'ammoniac (kgN/an) ;

$FE_{résidus}$ = facteur d'émission de NH_3 associé aux résidus (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 France hexagonale fournies par l'UNIFA [90] distinguent différentes catégories d'engrais : ammonitrates, sulfate d'ammoniaque, cyanamide 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]. En s'appuyant sur les échantillons de la BDAT, on estime la probabilité d'un sol agricole d'avoir un pH inférieur ou égal à 7 avec la « p-value ».

Les facteurs résultants utilisés dans l'inventaire national sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 211 : Facteurs d'émission de NH_3 pour les engrais minéraux en 2024

Type de fertilisant	Azote total épandu (tN)	% épandu sur un sol avec pH <=7	% épandu sur un sol avec pH > 7	kg N-NH_3 / kg de N épandu
Ammonitrates	630 810	54%	46%	0,0304
Solutions azotées	481 476	41%	59%	0,0377 – 0,1077
Urée	520 253	57%	43%	0,0494 – 0,1645
Autres simples N	64 627	52%	48%	0,0165 – 0,1374
Autres composés	119 601	63%	37%	0,1008

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 France hexagonale, 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.

Résidus de culture

Les résidus de culture laissés en surface plus de 3 jours peuvent conduire à des émissions de NH_3 selon EMEP et de Ruijter & Huijsmans [1331, 1371]. L'inventaire tient compte de plusieurs sources de résidus de récolte laissés au champ :

- les résidus de récolte des cultures principales (pommes de terre, pois, betteraves, etc.) ;
- les résidus de récolte des prairies, issus du fauchage des refus, ou obtenus après désherbage chimique pour renouvellement ;
- les résidus de cultures intermédiaires : repousses du précédent, intercultures non exploitées ou encore cultures dérobées, lorsque les résidus sont laissés au champ après destruction chimique ou par le gel.

Cultures annuelles principales

Les résidus aériens des cultures annuelles principales sont estimés à partir de la méthodologie Giec, détaillée en annexe « A.6. Estimation des quantités de matière sèche des résidus de culture ». La part laissée au champ plus de trois jours avant enfouissement ou travail du sol est inconnue, aussi nous faisons l'hypothèse que 100% des résidus qui ne sont ni exportés ni brûlés sont laissés au champ plus de trois jours. La teneur en azote des résidus (N_{AG}) est estimée à partir de différentes références détaillées dans l'annexe.

Prairies

La production de matière sèche des prairies issue de la fauche est estimée à partir des références des enquêtes pratiques culturales en grandes cultures et prairies de 2017 [485] et des statistiques nationales sur la production d'herbe fournies par la SAA [85]. On estime ainsi que 36% de la production nationale des prairies permanentes et 51% de la production nationale des prairies temporaires est issue de fauche. En reprenant les hypothèses inscrites dans les « supplementing informations » de la méthode de de Ruijter & Huijsmans [1371], les résidus de fauche sont estimés à 10% de la récolte d'herbe.

Le « topping » et le fauchage des refus sont estimés à partir des enquêtes pratiques culturales en grandes cultures et prairies en 2006 et 2017 [485]. En 2017, le fauchage des refus a eu lieu sur 25% des surfaces en prairies permanentes et temporaires. En s'appuyant sur les références de de Ruijter & Huijsmans [1371], on estime que les résidus restant au sol après fauchage des refus s'élèvent à 350 kg de matière sèche par hectare.

Le traitement chimique des prairies est pris en compte en mobilisant les enquêtes pratiques culturales en grandes cultures et prairies en 2006 et 2017 [485]. En 2017, 8% de la surface en prairies permanentes et temporaires a fait l'objet d'un resemis sans retournement. On associe cette valeur à du traitement chimique pour rénovation, ce qui est proche des valeurs affichées en 2006 pour le désherbage chimique des prairies (entre 8% et 9%).

Pour l'ensemble des résidus estimés, la part laissée au champ plus de trois jours avant enfouissement ou travail du sol est inconnue, aussi nous faisons l'hypothèse que 100% des résidus sont laissés au champ sans retournement rapide. La teneur en azote des résidus (N_{AG}) est issue des lignes directrices du Giec 2019 [1229].

Cultures intermédiaires

Les surfaces en cultures intermédiaires non exploitées, repousses du précédent et dérobées sont estimées à partir des surfaces en cultures principales issues de la SAA [85] et des enquêtes pratiques culturales en grandes cultures de 2006, 2011, 2017 et 2021. Les rendements des intercultures et cultures dérobées sont estimés à partir des enquêtes pratiques culturales en grandes cultures en 2017 [485] et s'échelonnent entre 1,7 et 2,8 tMS/ha. Pour les repousses du précédent, on fait l'hypothèse de rendements équivalents à 10% des rendements en cultures intermédiaires.

Pour l'ensemble des résidus estimés, la part laissée au champ plus de trois jours avant enfouissement ou travail du sol est inconnue, aussi nous faisons l'hypothèse que 100% des résidus sont laissés au champ sans retournement rapide. La teneur en azote des résidus (N_{AG}) est estimée à partir des valeurs fournies dans le guide Emep 2023 [1331].

Les émissions de NH_3 des résidus de cultures (3Da4) sont estimées à partir de la méthodologie Tier 2 d'Emep 2023 [1331]. Le facteur d'émission ($FE_{résidus}$) est estimé selon l'équation EMEP Tier 2, et varie selon la culture concernée :

$$\boldsymbol{FE_{résidus}} = [(\mathbf{410} \times \boldsymbol{N_{AG}} - \mathbf{5,42})/\mathbf{100}] \times \mathbf{17/14}$$

Avec N_{AG} *: Teneur en azote des résidus (en kg N / kg MS)*

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	2024
Ancien	kt CO2e	23 020	21 288	23 179	21 814	20 426	20 848	19 174	19 714	17 950	18 168	0
Nouveau	kt CO2e	22 808	21 181	23 005	21 654	20 285	20 937	19 721	20 414	18 981	18 991	18 786
Différence	kt CO2e	-212	-107	-173	-159	-141	+89	+547	+700	+1 031	+823	+18 786
	%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	+0%	+3%	+4%	+6%	+5%	-

Source Citepa / mars_2026 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 se retrouvent au niveau de la catégorie 3.D.1.a, mais l'ensemble des modifications sont listées ci-dessous :

- 3.D.1.a - Engrais minéraux : ajustement de la méthode pour estimer le FE N_2O (spatialisation affinée pour prendre en compte les formes d'engrais) entrainant une révision à la baisse en début de période (impact moyen annuel d'environ -170 kt CO_2e entre 1990 et 2018). Révision des campagnes UNIFA (données d'activité) à partir de 2014 qui vient contrebalancer cette baisse en fin de période (impact annuel moyen final en fin de période sur la catégorie : +370 kt CO_2e).
- 3.D.1.b.i - Déjections animales : légère révision à la hausse des quantités épandues en lien avec la prise en compte de la méthanisation pour les petits animaux, visible légèrement en fin de période.
- 3.D.1.b.ii - Boues : mise à jour des données d'activité pour 2023 et ajustement de la distribution par climat (wet/dry) sur la base de la SAU.

- 3.D.1.b.iii - Composts et digestats hors effluents : légères mises à jour des données d'activité sur la période et ajustement de la distribution par climat (wet/dry) sur la base de la SAU.
- 3.D.1.c - Animaux à la pâture : très faible impact en lien avec la révision des productions porcines.
- 3.D.1.d - Résidus de récolte : ajustement de la distribution par climat (wet/dry) sur la base de la SAU.
- 3.D.1.e - Minéralisation : révision des pertes de carbone sur toute la série (voir UTCATF).
- 3.D.1.f – Histosols : révision des surfaces sur toute la période (voir UTCATF).
- 3.D.2.a - N_2O indirect lié à la redéposition : impact lié aux ajustements de la distribution des apports azotés par catégorie de climat (wet/dry) et de pH des sols (normal / high), à la révision à la hausse des engrais minéraux en fin de période et à l'intégration des émissions de NH_3 des résidus laissés plus de 3 jours au sol.
- 3.D.2.b - N_2O indirect lié au lessivage : impact lié aux ajustements de la distribution des apports azotés par climat (wet/dry) sur la base des apports moyens par culture et par commune, ainsi qu'à la révision à la hausse des engrais minéraux en fin de période

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.

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 hexagonale 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 rapportées provient du brûlage des sarments de vigne dont l'activité est tolérée (des restrictions peuvent néanmoins être émises en cas

de pic de pollution), des feux pastoraux dans les alpages 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].

Pour les feux pastoraux, l'estimation des surfaces brûlées est basée sur une intersection géographique entre les détections de feux issues de données satellitaires Suomi-NPP / VIIRS fournies par la Nasa entre 2012 et 2023 [1386] et les données spatialement explicites de surfaces en prairies permanentes et alpages mobilisées dans le cadre du NID de l'édition 2025 de l'inventaire sur les gaz à effet de serre (NID 2025, section 6.3) [1385]. Cette intersection permet d'estimer la fraction des surfaces en pâture brûlée en France. Pour obtenir une série complète depuis 1990 on procède de la façon suivante :

- De 1990 à 2011 : application de la fraction brûlée calculée pour 2012 ;
- De 2012 à 2023 : calcul de la fraction brûlée à partir des données satellitaires ;
- De 2023 à l'année en cours : application de la fraction brûlée calculée pour 2023.

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	2024
Ancien	kt CO2e	96	95	103	67	59	42	19	18	18	18	0
Nouveau	kt CO2e	98	98	107	69	61	45	21	21	20	21	21
Différence	kt CO2e	+2.6	+2.7	+3.2	+2.4	+2.4	+2.4	+1.6	+2.9	+2.3	+2.5	+21
	%	+3%	+3%	+3%	+4%	+4%	+6%	+8.42%	+16%	+13%	+14%	-

Source Citepa / mars_2026 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.

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 212 : 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 CaCO3 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	2024
Ancien	kt CO2e	915	1 049	955	914	802	863	811	781	807	885	0
Nouveau	kt CO2e	915	1 049	955	914	802	863	811	781	807	885	901
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+901
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

Source Citepa / mars_2026 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 tCO_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	2024
Ancien	kt CO2e	865	821	874	892	935	1 082	1 098	1 015	955	1 092	0
Nouveau	kt CO2e	865	821	874	892	935	1 129	1 178	1 099	1 094	1 173	1 196
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	+48	+80	+84	+139	+81	+1 196
	%	0%	0%	0%	0%	0%	+4%	+7.26%	+8%	+15%	+7%	-

Source Citepa / mars_2026 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

Les campagnes UNIFA (données d'activité) ont été révisées à partir de 2014.

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 CH4

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	2024
Ancien	kt CO2e	125	115	155	162	173	168	153	164	163	145	0
Nouveau	kt CO2e	125	115	155	162	173	171	162	176	175	155	146
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	+2.5	+9.3	+12	+12	+9.9	+146
	%	0%	0%	0%	0%	0%	+1%	+6.05%	+7%	+7%	+7%	-

Source Citepa / mars_2026 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

Les campagnes UNIFA (données d'activité) ont été révisées à partir de 2014.

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.[36] 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 213 : Détails relatifs au suivi des terres (*land representation*)

Suivi des terres (land representation)		
Zone	France hexagonale	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%

[36] 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 214 : Détails sur la méthode utilisée selon les types de terres et les compartiments carbone pour le CO2 (France hexagonale)

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 hexagonale : 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 seuls stocks de référence pour un type d'usage et un compartiment carbone qui varient dans le temps sont les sols des cultures et prairies.

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 215 : 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 216: 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 217 : 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.

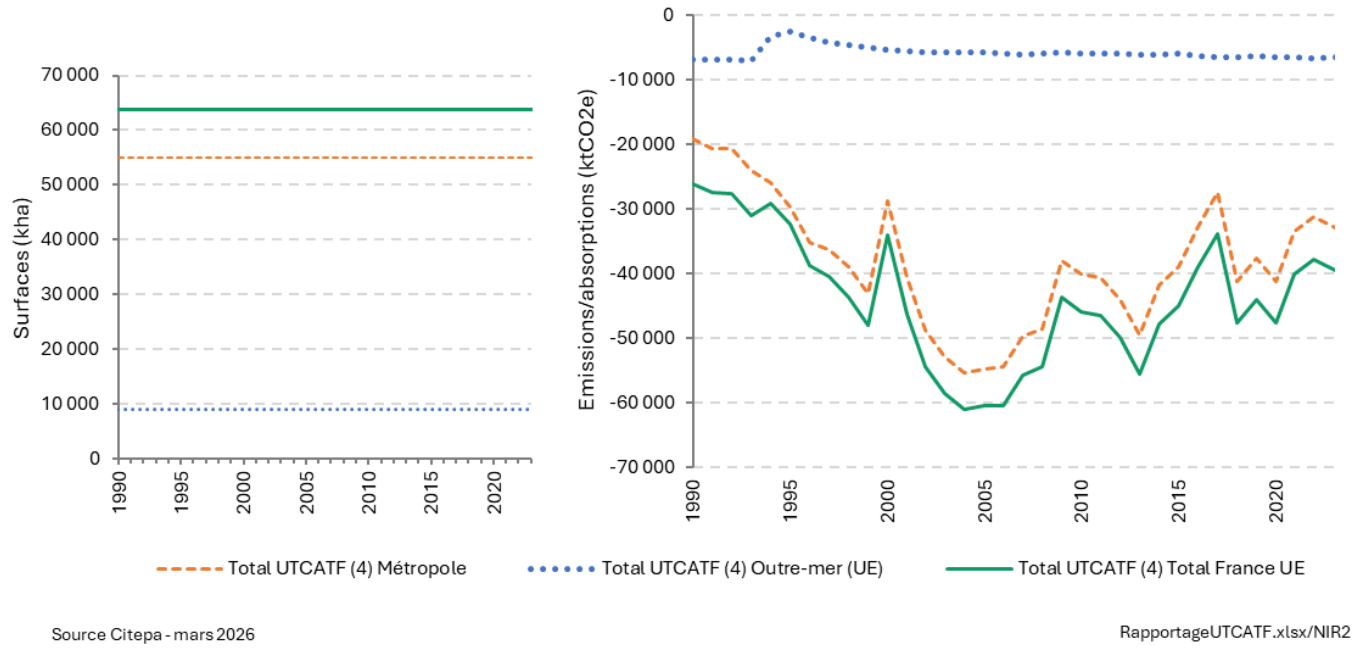


Figure 179 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF pour l'hexagone et l'Outre-mer (UE)

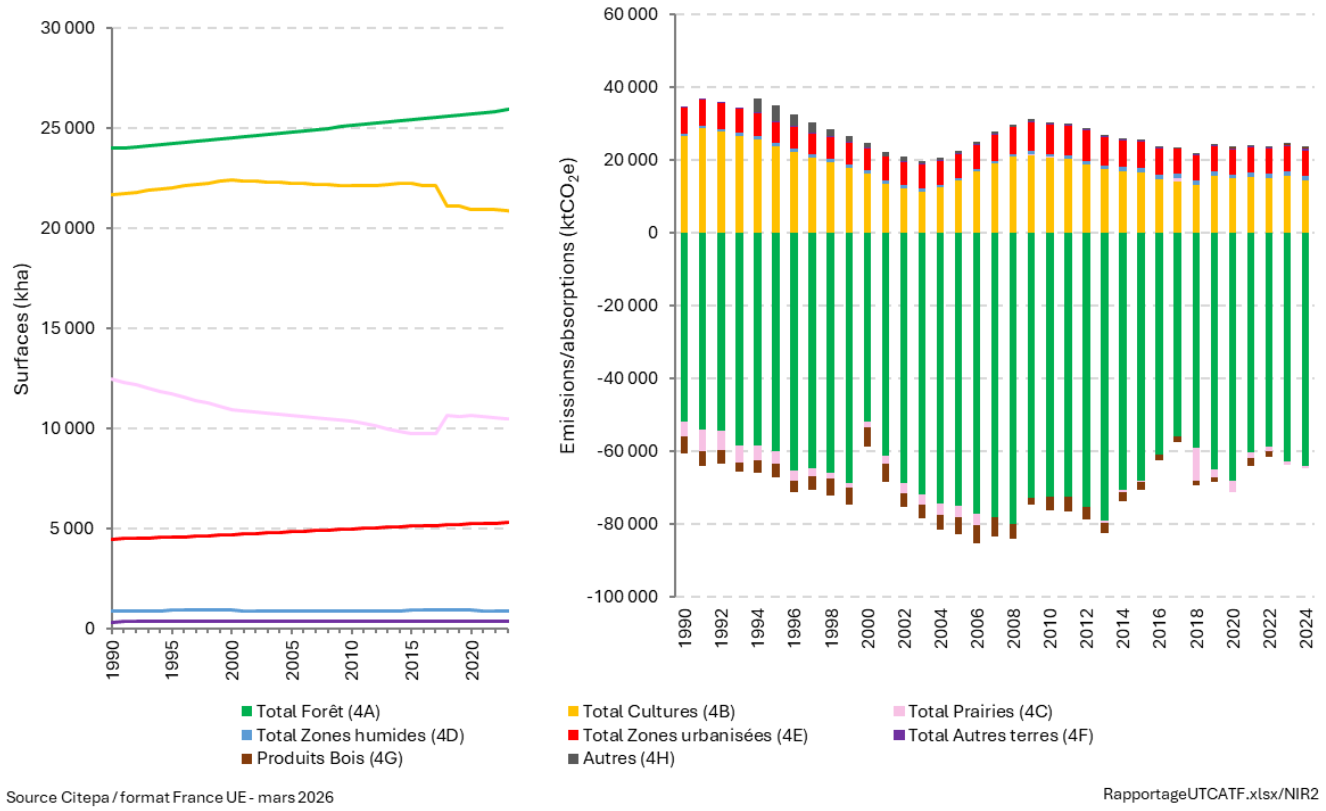


Figure 180 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF par catégorie CRT

Tableau 218 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF pour la France hexagonale et l'Outre-mer (UE)

	Surfaces (1000 ha)			Emissions / Absorptions (ktCO2e)		
	Total UTCATF (CRT 4)			Total UTCATF (CRT 4)		
	Hexagone	Outre-mer (UE)	Total France UE	Hexagone	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	54 920	8 939	63 859	-19 209	-6 839	-26 048
1991	54 920	8 939	63 859	-20 638	-6 819	-27 457
1992	54 920	8 939	63 859	-20 689	-6 948	-27 637
1993	54 920	8 939	63 859	-24 044	-7 026	-31 070
1994	54 920	8 939	63 859	-25 883	-3 196	-29 079
1995	54 920	8 939	63 859	-29 702	-2 613	-32 315
1996	54 920	8 939	63 859	-35 192	-3 502	-38 694
1997	54 920	8 939	63 859	-36 316	-4 211	-40 527
1998	54 920	8 939	63 859	-38 919	-4 662	-43 581
1999	54 920	8 939	63 859	-43 005	-5 027	-48 031
2000	54 920	8 939	63 859	-28 692	-5 381	-34 073
2001	54 920	8 939	63 859	-40 672	-5 566	-46 238
2002	54 920	8 939	63 859	-48 699	-5 720	-54 419
2003	54 920	8 939	63 859	-52 850	-5 755	-58 605
2004	54 920	8 939	63 859	-55 261	-5 715	-60 977
2005	54 920	8 939	63 859	-54 729	-5 801	-60 530
2006	54 920	8 939	63 859	-54 385	-5 995	-60 380
2007	54 920	8 939	63 859	-49 764	-6 028	-55 792
2008	54 920	8 939	63 859	-48 492	-5 852	-54 344
2009	54 920	8 939	63 859	-37 909	-5 817	-43 726
2010	54 920	8 939	63 859	-40 131	-5 870	-46 002

2011	54 920	8 939	63 859	-40 732	-5 840	-46 572
2012	54 920	8 939	63 859	-43 991	-5 979	-49 970
2013	54 920	8 939	63 859	-49 541	-6 040	-55 581
2014	54 920	8 939	63 859	-41 755	-6 054	-47 810
2015	54 920	8 939	63 859	-39 032	-5 969	-45 001
2016	54 920	8 939	63 859	-32 651	-6 335	-38 985
2017	54 920	8 939	63 859	-27 507	-6 429	-33 936
2018	54 920	8 939	63 859	-41 223	-6 489	-47 712
2019	54 920	8 939	63 859	-37 645	-6 384	-44 029
2020	54 920	8 939	63 859	-41 226	-6 408	-47 634
2021	54 920	8 939	63 859	-33 520	-6 496	-40 016
2022	54 920	8 939	63 859	-31 118	-6 685	-37 802
2023	54 920	8 939	63 859	-32 725	-6 505	-39 230
2024	54 920	8 939	63 859	-34 625	-6 556	-41 181

Analyse en catégories sources-clés (key category analysis)

Le tableau ci-dessous présente les catégories et substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en niveau en 2024. Les catégories considérées clefs en niveau sont les catégories dont les émissions cumulées constituent 95% des émissions totales nationales. Par exemple le secteur 4A1 est la 2ème catégorie clef en niveau, et contribue à 10,8 % des émissions nationales de CO2.

Tableau 219 : Substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en niveau (2024)

Sous-secteur	GES	Niveau	
		Rang	Contribution (%)
4A1 - Forest Land remaining Forest Land	CO_2	2e	10.8%
4A2 - Land converted to Forest Land	CO_2	5e	3,3%
4B2 - Land converted to Cropland	CO_2	8e	2,5%
4E - Settlements	CO_2	17e	1,4%
4B1 - Cropland remaining cropland	CO_2	29e	0.6%

Le tableau ci-dessous présente les catégories et substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en tendance entre 1990 et 2024. Les catégories considérées clefs en tendance sont les catégories dont les émissions cumulées constituent 95% de l'évolution des émissions totales nationales entre 1990 et 2024. Par exemple le secteur 4A2 est la 3ème catégorie clef en tendance, et contribue à 10,8 % des émissions nationales de CO2.

Tableau 220 : Substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en tendance (1990-2024)

Sous-secteur	GES	Evolution	
		Rang	Contribution (%)
4A2 - Land converted to Forest Land	CO2	3	4,8%
4G - Harvested wood products	CO2	9	2,7%
4C2 -Land converted to Grassland	CO2	14	1,9%
4A1 - Forest Land remaining Forest Land	CO2	15	1,9%
4B2 - Land converted to Cropland	CO2	19	1,4%
4E - Settlements	CO2	25	1,0%
4B1- Cropland remaining Cropland	CO2	32	0,7%
4D2 - Land converted to Wetlands	CO2	51	0,3%
4C1 - Grassland remaining Grassland	CO2	60	0,3%
4B2 - Land converted to Cropland	N2O	67	0,2%

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 221 : 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 (hexagone 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 »

La catégorie des terres forestières restant terres forestières est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées dans la catégorie « Forêt » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir forêt.

La catégorie des terres devenant terres forestières correspond à l'ensemble des terres en Forêt l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

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 222 : 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 »

La catégorie des terres cultivées restant terres cultivées est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Cultures » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Cultures.

La catégorie des terres devenant terres cultivées correspond à l'ensemble des terres en Cultures l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

6.2.3 Prairies

Définitions

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 223: 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 »

La catégorie des prairies restant prairies est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Prairies » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Prairies.

La catégorie des terres devenant Prairies correspond à l'ensemble des terres en Prairie l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

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 224 : 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 »

La catégorie des zones humides restant zones humides est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Zones humides » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Zones humides.

La catégorie des terres devenant Zones humides correspond à l'ensemble des terres en Zones humides l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

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 225 : 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 »

La catégorie des zones artificialisées restant zones artificialisées est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « zones artificialisées » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir zones artificialisées.

La catégorie des terres devenant zones artificialisées correspond à l'ensemble des terres en zones artificialisées l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

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 226 : 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 »

La catégorie des autres terres restant autres terres est une catégorie utilisée pour le rapportage. Elle correspond, par convention, aux surfaces classées en dans la catégorie « Autres terres » l'année N et l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec). Dans les faits, cela inclut des terres qui ont pu changer d'usage et redevenir Autres terres.

La catégorie des terres devenant Etablissements correspond à l'ensemble des terres en Autres terres l'année N mais dans une autre catégorie l'année N-20 (20 ans étant la période par défaut définie par le Giec).

6.2.7 Produits bois ou « produit ligneux récoltés (PLR) »

Définition du guide GIEC 2006 [710] : « Les PLR incluent tous les matériaux ligneux (y compris l'écorce) extraits des sites de récoltes. Les rémanents et autres matériaux laissés sur le site des récoltes doivent être considérés comme de la matière organique morte et non pas des PLR »

Définition de la décision UE n° 529/2013 du 21/05/13 : « produit ligneux récolté », tout produit issu de la récolte du bois, qui a quitté un site où le bois est récolté.

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 hexagonale, 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 hexagonale, 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 la biomasse 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 hexagonale 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 hexagonale, 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 hexagone), 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 France hexagonale, 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 227 : Sources d'information utilisées pour le suivi des terres en fonction du territoire

Périmètre	Territoire	Superficie (ha)	Approche	Données source
Hexagone	France hexagonale	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 hexagonale

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 ceux mobilisés pour la France hexagonale : des travaux spécifiques sont donc réalisés pour chacun des territoires couverts. Le suivi des territoires d'Outre-mer inclus dans l'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,

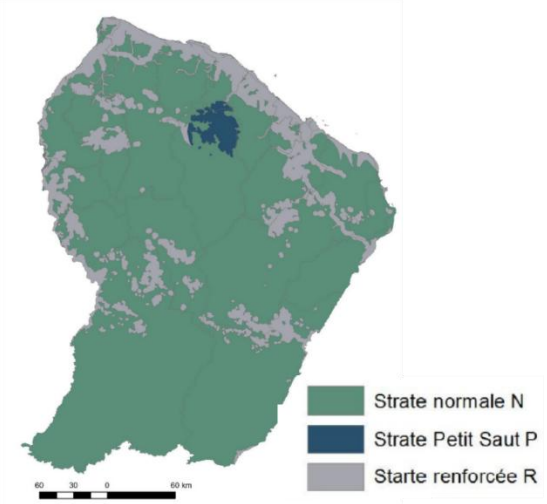
Figure 181 : Représentation des 3 strates d'échantillonnage pour le suivi des terres en Guyane français

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.
- 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



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 ».

point est une placette circulaire de 0.5 ha centrée autour du point échantillon.

Tableau 228 : Représentativité d'un point d'enquête dans chaque strate [673]

-	Strate		
	N	P	R
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 France hexagonale.

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 229 : 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 230 : 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 231 : 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 232 : 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 233 : 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 234 : 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 235 : 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. Ce point fait partie du plan d'amélioration de l'inventaire.

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 1 (UTCATF)
(inspirée de l'équation 2.7 du GIEC 2006 [672])

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 2 (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.

$$\Delta C = \Sigma_{ijk} [A_{ijk} \bullet (CI - CL)_{ijk}]$$

Méthode appliquée en France hexagonale

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 des flux à la maille est décrit en annexe (UTCATF_suividesterres), section CARBONE.

Méthode appliquée pour les Outre-Mer

Le modèle à la maille n'existe pas hors hexagone 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 (Annexe UTCATF_suividesterres).

Il s'agit de :

- La biomasse vivante que l'on appelle de type « forêt », composée 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 aérienne des prairies arbustives et des zones arborées hors forêt (zones artificielles arborées) est également classée de « type forêt ».
- La biomasse vivante, dite de « type cultures permanentes ».
- La biomasse herbacée, de type cultures annuels ou de type prairies.

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 France hexagonale, 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 236: : 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 237 : 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 238 : 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 » (France hexagonale)

La description des stocks utilisés pour l'estimation des variations de stocks de carbone liés aux changements d'usage en France hexagonale est fournie dans la section CARBONE de l'annexe UTCATF_suividesterres.

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 Terres Forestières. 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 France hexagonale.

Biomasse vivante ligneuse type cultures pérennes (France hexagonale)

Pour la description des stocks utilisés pour l'estimation des variations de stocks de carbone liés aux changements d'usage en France hexagonale, se référer à la section CARBONE de l'annexe UTCATF_suividesterres.

Biomasse vivante herbacée type cultures annuelle et type herbe (France hexagonale)

Pour la description des stocks utilisés pour l'estimation des variations de stocks de carbone liés aux changements d'usage en France hexagonale, se référer à la section CARBONE de l'annexe UTCATF_suividesterres.

Biomasse vivante des haies (France hexagonale)

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. Plusieurs millésimes existent mais des réserves ont été exprimées sur la possibilité de les comparer (faux positifs possibles pour les apparitions de haies). 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 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 [1391]. 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.

Bois mort

Définition

On considère trois origines aux flux de bois mort sans changement d'usage (qui sont des transferts de la biomasse vivante à la biomasse morte) :

- la mortalité naturelle des arbres sur pied
- la mortalité exceptionnelle en cas de tempêtes (chablis),
- l'abandon des résidus de récolte de bois lors de l'exploitation des parcelles forestières.

Puis, la création ou la disparition d'un stock de bois mort lors d'un boisement ou d'un déboisement sont aussi comptabilisées.

Données – flux bois mort mortalité naturelle

Les données de l'IGN [202] de mesures des stocks de bois mort, combinées à une estimation de leur date de mortalité permettent d'estimer la mortalité naturelle des arbres sur pied en forêt en France hexagonale. 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 en Outre-Mer.

Données – flux bois mort mortalité tempêtes

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. Aucune donnée n'est mobilisée en Outre-Mer.

Données – flux bois mort pertes récoltes

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.

Données – flux bois mort changements d'usages

Pour la description des stocks utilisés pour l'estimation des variations de stocks de carbone liés aux changements d'usage en France hexagonale, se référer à la section CARBONE de l'annexe UTCATF_suividesterres.

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 239 : Stocks de carbone (tC/ha) dans le bois mort des terres forestières en Outre-mer

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
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

Litière

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

Pour la description des stocks utilisés pour l'estimation des variations de stocks de carbone liés aux changements d'usage en France hexagonale, se référer à la section CARBONE de l'annexe UTCATF_suividesterres.

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 240 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la litière des terres forestières en Outre-mer

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
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

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)

Pour la description des stocks utilisés pour l'estimation des variations de stocks de carbone liés aux changements d'usage en France hexagonale, se référer à la section CARBONE de l'annexe UTCATF_suividesterres.

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].

Tableau 241: 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 France hexagonale et l'Outre-mer du fait des différences de climat.

Tableau 242 : Paramètres de calcul pour les sols organiques (histosols) drainés.

	France hexagonale		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 2025, 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 (6.L.1, 2025) 4. Land representation - CO2	France implemented a spatially explicit land monitoring approach using a nationwide 50-meter grid, integrating multiple cartographic sources to reconstruct annual land use and land use change for each grid cell. An algorithm was applied to select the most reliable data per centroid, supported by additional modules for afforestation/deforestation, artificialisation, and crop rotation. The model relies on diverse datasets, including Urban Atlas (UA), Corine Land Cover (CLC), Natura 2000 (N2K), BD Forêt (BDF), RPG, BDcarto, and BDtopo. For the TERT, the provided information on the satellite inputs, spatial resolution, methodological details (particularly for BD Forêt), the algorithm's decision rules, and the method used to ensure time-series consistency prior to 2006 in order to understand the robustness of the approach was not clear. During the review, the Party clarified that the model integrates multiple cartographic products through a hierarchical structure that prioritizes thematic accuracy, with the following ranking: UAch > N2Kch > CLCch > BDF > RPG > UA > N2K > BDcarto Forest land use is prioritized using BD Forêt (BDF), while RPG (LPIS) informs cropland and grassland assignments. European datasets (Urban Atlas, Natura 2000) are also integrated, and default coverage is provided by BDcarto where no high-resolution data exist. The decision algorithm selects the most reliable source per grid centroid, giving priority to change products (e.g. Urban Atlas Change) when available, to ensure consistency	2025 Draft BTR review report	We have created a separated annex (Annex UTCATF_suividesterres.pdf), describing in more details the land representation model. This includes description of the products used and more specifications of these products.

	before and after a LUC event. For pre-2006 years, when many modern products were unavailable, France applied statistical extrapolations and utilized older versions of BDF and BDTopo to fill gaps. Metadata about satellites and methods used by each product are not always publicly available but partially referenced. In order to improve the transparency of the submission, the TERT recommends the Party to: (i) clarify the algorithmic decision rules used to select the most reliable cartographic source per grid centroid. Provide pseudo-code, flowcharts or decision trees to enhance reproducibility and transparency, (ii) document the temporal extrapolation methods used for the pre-2006 period in more detail, including assumptions and validation, to help assess time-series consistency, (iii) provide a more systematic mapping of the origin, satellite source, spatial resolution, and thematic accuracy of each cartographic input. Providing a structured table with this metadata would support evaluation of source reliability and (iv) ensure continuity in QA/QC procedures for cartographic product integration, especially when updating sources (e.g., new RPG versions or changes in BDF specifications), to maintain methodological consistency.		
LULUCF (6.L.2, 2025) 4. Land representation - CO2	France's afforestation–deforestation module identifies land use change by comparing forest polygons from two editions of the BD Forêt dataset, applying a series of filtering steps to remove false detections. These include eliminating spurious afforestation due to resolution differences and correcting edge effects in polygon layouts, as well as adjusting for improved detection of roads and paths that may falsely appear as deforestation. The TERT recognizes this module as a key component of land use change detection in the forestry sector, however, the TERT believes the explanation of these steps and the description of the filtering sequence, criteria, and decision rules used to exclude non-genuine changes was not clear to assess how potential biases—particularly those linked to spatial resolution and feature interpretation—are mitigated in the reported estimations of land use change. During the review, France provided a methodological note titled "Protocol for the Detection of Afforestation and Deforestation" (Citepa, 2025), which describes a spatially explicit module designed to detect land use change between forest and non-forest areas. The module is complementary to the general land change model, If both models detect a change, the general model prevails; If only the afforestation-deforestation module detects change, its results are retained. Final classification of land use change includes uncertainty categories (low, medium, high), depending on the confidence in	2025 Draft BTR review report	We have created a separated annex (Annex UTCATF_suividesterres.pdf), describing in more details the land representation model. This includes elements on afforestation and deforestation detections. Please note that this part of the method is subject to continous improvement, and remains part of the improvement plan. For instance, thresholds or rules of decisions will most probably be updated by this ongoing work.

	source data used for assigning land use before and after change. To improve the transparency of the methodological approach used to detect Afforestation and deforestation, the TERT recommends the Party to: (i) include a flowchart or schematic diagram of the afforestation/deforestation detection process in the NIR, clearly outlining decision points, filters, and hierarchy of input layers, (ii) document quantitative validation efforts, such as comparisons with ground data (e.g., NFI plots or Teruti survey), to assess accuracy of detected changes and the effectiveness of filtering steps, (iii) clarify uncertainty assignment procedures, especially how "low", "medium", or "high" categories are defined and how they propagate into LULUCF emission estimates, (iv) report the estimated area of changes excluded by each filter step (e.g., edge effects, small polygons), to help assess the trade-off between false positives and missed detections and (v) disclose known limitations more explicitly in the NIR, such as the inability to assign exact year of change, and describe any measures taken to address these limitations (e.g., auxiliary data, conservative assumptions).		
LULUCF (6.L.3, 2025) 4. Land representation - CO2	In the subsection of the NIR on "Agricultural Dynamics," France describes a complementary module based on RPG data to track crop cycles and the presence of grasslands, treating agricultural land as a unified category to avoid over-detection of short-term changes. For 2015–2021, annual RPG data were directly assigned to centroids, while for earlier years, historical land use was reconstructed using statistical methods. Crop rotations were modelled using Markov chains, based on observed transitions during 2015–2020, to estimate land use changes at the PRA level. For the TERT it was not clear how this approach using Markov chain methodology ensured consistency across the full time series (1990–2021) despite changes in data sources and methods. During the review, the Party submitted a methodological note titled "Agricultural Soil Methodology" (Citepa, 2025), which outlines the approach used to reconstruct agricultural land use changes in mainland France from 1970 to 2020. The core of the method is a spatially explicit crop rotation model based on a first-order Markov chain, calibrated separately for each Petite Région Agricole (PRA – Small Agricultural Region). The model generates plausible annual crop rotations and land use successions for each centroid from 1970 onward. The Party acknowledge the limitations of the approach as the model assumes constant parcel geometry, treats plots as independent (ignores neighbourhood effects), and does not validate historical sequences against observations. The TERT recommends the Party to: (i) clearly explain the link between census-based statistics and model	2025 Draft BTR review report	We have created a separated annex (Annex UTCATF_suividesterres.pdf), describing in more details the land representation model. This includes a section on the crop rotation model description. We are aware that most assumptions are made to simplify the model and allow to be spatially explicit and compliant with the EU requirement, and must then be extrapolated where data are not available. These issues are really challenging, we will work on improving the control of biais of these hypothesis, their description, and potentially change of the methodology (this specific topic is also still on the improvement plan, and continous work is done on this subject).

	recalibration of the transition matrices, (ii) report accuracy metrics or validation results for the model outputs (e.g., comparison of modelled vs. observed crop shares at PRA level) for the 1970–2014 period, (iii) clarify how the model ensures consistency at the centroid level—i.e., how it avoids abrupt or implausible land use transitions between years, particularly for long-term categories like permanent grassland or perennial crops, (iv) disclose and justify model assumptions, such as stability of plot geometry between 2015 and 1970, independence of land use transitions from plot size or spatial context and the use of linear interpolation between census years, (v) quantify and communicate model uncertainty, particularly in the back-casted period and (vi) describe any quality control or expert review used to evaluate the realism of modelled land use sequences before they were integrated into the inventory.		
LULUCF (6.L.4, 2025) 4. Land representation - CO2	The Party did not report on uncertainty analysis in the section Land monitoring in mainland France NID. The TERT was therefore unable to identify any information related to the uncertainty analysis of the multisource model. Similarly, no such information was found in the Uncertainty Analysis section (page 634) or in Appendix 2. For the TERT it was also not clear if uncertainties related to land use and land use change estimations at the grid cell level were assessed for each reporting period at the light of the 2006 IPCC GL on uncertainty analysis. During the review the Party acknowledged that no updated uncertainty assessment has been conducted for the new spatially explicit multisource land monitoring model. The Party indicated that the primary source of uncertainty comes from the inherent quality and limitations of the cartographic products used in the model. Due to the recent implementation of the spatially explicit system, no quantitative uncertainty values are currently available. France stated that uncertainty assessment of the integrated products will be addressed in the medium term, once appropriate quality assurance processes are in place. In order to improve the accuracy of the LULUC estimations and address the requirement of paragraph 29 of the MPGs on Uncertainty assessment, the TERT recommends the Party to develop and implement a quantitative uncertainty analysis for the multisource land representation model, consistent with IPCC 2006 Guidelines a (Vol. 1, Ch. 3). It is recommended that it include: (i) unbiased area estimations of LULUC, (ii) estimations of uncertainties for the unbiased area estimations of LULUC, (iii) the propagation of uncertainties of the unbiased area estimations of LULUC and a (iv) comprehensive and detailed description of the inputs, assumptions and methodology used to	2025 Draft BTR review report	Not implemented yet. We will consider these elements on uncertainties for possible improvements in next submissions. These improvements are also linked to the other improvements planned for coming years in the land representation model.

	obtain the unbiased area estimations of LULUC and its uncertainties.		
LULUCF (6.L.5, 2025) 4. Land representation - CO2	In the subsection on French Guiana, land use change between 1989 and 2008 was assessed using a point-based sampling method, while post-2012 deforestation was estimated using a wall-to-wall satellite product capturing forest cover changes in 5-year intervals. Although the Party considers this shift represents a methodological improvement, however, the NID does not specify how time series consistency was ensured during the transition between methods. To the TERT it was not clear how the integration of both approaches was managed to maintain a coherent and consistent land use change time series. During the review, the Party clarified that the Vancutsem product was used to assess deforestation over the periods 2010–2015 and 2015–2020. To ensure time series consistency, the relative change in deforestation trends observed between these two periods was retained and retroactively applied to the 2008–2012 period, which was originally assessed using a point-based sampling approach. This adjustment preserves the overall deforestation level derived from the original method while incorporating the temporal trend detected by the more recent wall-to-wall mapping. To improve the transparency and consistency of the LULUC estimations between 1989 and 2008 in French Guyana, the TERT recommends the Party to: (i) provide quantitative comparisons between the two approaches (e.g., overlapping years such as 2008–2012), including differences in detected area and spatial patterns of change, (ii) clarify how the Vancutsem trend was applied to adjust the earlier point-based estimates, (iii) describe the harmonization method used to integrate both datasets in a single, consistent time series, this includes how land use change categories were aligned across methods and (iv) justify the assumption that the spatial trend detected by	2025 Draft BTR review report	We have added elements in the NIR about the harmonization method. The landuse approach for French Guiana might evolve in next submissions to have a better timeliness and annual updates of the dynamics in recents years thanks to earth observation products. It might still be the Vancutsem one or another. (NIR section 6.3)

	Vancutsem is more accurate that the dynamics obtained by the sampling approach.		
LULUCF (6.L.9, 2025) 4. General LULUCF - CO2	In Section 6.3.4 on Uncertainties, it was noted that uncertainty in the LULUCF sector is estimated at 30% using a Monte Carlo approach. To the TERT it was not clear what the specific time period is for which this uncertainty estimate is considered representative. Additionally, it was not clear what the specific sources of uncertainty were that were taken into account in deriving this estimate and how the Monte Carlo approach was implemented in this context. During the review, the Party explained that the Monte Carlo analysis was made a few years ago, it is not focused on a specific period but estimated globally for the entire period covered by the inventory. The calculation of the uncertainty is not implemented at the level of calculation of emission but at aggregated level with a proxy (very simplified calculation based on areas, biomass gains, biomass losses and other fluxes). The uncertainty of areas is estimated between 1% and 80% depending on the type of land conversion. It was not updated with the new geographically explicit system and they expect some benefits even if the reduction of uncertainty is not so obvious with geographically explicit monitoring. The uncertainty of gains in forest is estimated as 5% in forest and 20% in croplands and grasslands, the uncertainty of losses is estimated as 10% in forest and 20% in grasslands and croplands. For other lands and pools the uncertainty considered is between 50% and 650% (650% of uncertainty is for mineral soil change in case of land conversion between forest and grassland). The Monte-Carlo routine estimate an uncertainty by land types by using this input data. The TERT recommends that the Party update its Monte Carlo uncertainty analysis to reflect the current geographically explicit system and recent input data. The revised analysis should incorporate disaggregated uncertainty sources by land-use	2025 Draft BTR review report	Not implemented yet. We will consider these elements on uncertainties for possible improvements in next submissions. These improvements are also linked to the other improvements planned for coming years and will follow the implementations of these actions (for instance on soil, land uses monitoring).

	category, apply consistent methodologies aligned with IPCC guidance, and clearly document the assumptions, input distributions, and scope of representativeness. This would enhance the accuracy and transparency of the emission/removal reported LULUCF uncertainty estimates.		

Suite à la revue de l'UE de 2025, 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-4-2025-0003 4 Land use, land-use change and forestry, CO2, 1990-2023	For Land representation for all years, France uses a wall-to-wall approach which combines many data sources. How land-use is projected after the last vintage of the relevant data source, or even what are the available vintages for each data source is not explained in the NID. During the review, France explained that changes were assumed to be constant after the last available vintage. However, the examples provided by France seemed to contradict this explanation as the last vintage is 2018 for most data sources, and yet a substantial drop in land category areas was sometimes observed after that year (e.g. deforested land). The TERT therefore recommends that France improve transparency on its land representation system by 1) documenting which data source is used for identifying which land-uses and land-use changes, 2) which vintages are available for which data source and 3) how projections are made before and after the available vintages. More importantly, because the approach is very complex, the TERT recommends that France verify that the aggregated land-use change matrix (Table A.1) obtained with its complex method is consistent with the same matrix as obtained from its traditional, sampling approach based on Teruti-LUCAS. Finally The TERT notes that strictly speaking, projections should be based on surrogate data (IPCC Guidelines on time series consistency, vol1, ch5).	LULUCF ESR review report 2025	Extrapolation of land use dynamics has been updated to avoid the drop mentionned for deforestation. Moreover, a new land use product is included in this new subsmission (OSCGE), and allows to cover the land use dynamics for the post 2018 period. Less extrapolations need to be done, and therefore lower the need for projections methods in the recent years. We still keep in mind the comment on the projection method and its requirements.

	However, the TERT understands that this is very challenging for land-use changes, and may not be worth the effort if France is planning to use the regular updates of the CLC+ backbone that are becoming available. The TERT recommends that France at least verify that its projection methods do not systematically lead to over- or under-estimates when checked against the recalculated values once the new vintage of data sources become available.		
FR-4A-2025-0004 4 Land use, land-use change and forestry, CO2, 1990-2023	The TERT noted that the NID indicates (p622) that IGN estimates harvested volumes at 0.94 Mm3/yr on average from deforested land: « Ces volumes défrichés sont estimés à environ 0,94 Mm3 de bois fort tige par an en moyenne sur les années couvertes. ». On the other hand, deforestation in recent years (e.g. 2019, 2022) is around 34 kha/yr which, multiplied by a reference stock of 62-80 tC/ha for AGB (p588), would give an estimate around 8.7 MtCO2 (that is approximately 8.7 Mm3). During the review, France explained that the discrepancy may be explained by the concentration of deforestation in regions with low carbon stocks. However, according to table 245 (p588), it seems that the only possibility consistent with this explanation would be that almost all deforestation takes place over shrubland: even using the lower bounds over forest types would divide our estimate by 3, not 10. This seems unlikely. The TERT therefore recommends that France investigate whether the share of HWP coming from deforestation is accurately estimated.	LULUCF ESR review report 2025	Discussions have started with the French Forest Inventory Team. No changes are included in this submission, but we are digging into this.

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 France hexagonale

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 restant forêt est étudié, ainsi que des améliorations sur les flux de carbone des sols en prairies et en culture liés aux pratiques de gestion.

Suivi des terres en Outre-mer

En Outre-Mer, des travaux d'amélioration du suivi des terres sont en cours, avec la mise en place d'approches similaires au spatialement explicite de la France hexagonale. De plus, pour les Outre-Mer hors UE, des travaux sont aussi en cours pour proposer des taux de changements et proposer au moins un niveau Tier 1 pour les territoires pour l'instant en hypothèse de neutralité.

Bilan biomasse en Guyane

L'estimation de variations de stocks de carbone dans la biomasse vivante en Guyane pour les forêts non perturbées représente un changement important de l'édition NID 2026. Des travaux sont en cours pour raffiner cette nouvelle estimation, pour l'instant basée sur un taux d'accroissement constant issu de mesures in situ, mais qui pourraient être affinées spatialement et temporellement avec des produits d'observation satellitaires. Des investigations sont en cours sur les données mobilisables pour le suivi de la biomasse morte et du carbone des sols également en forêt sans changement d'usage.

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.

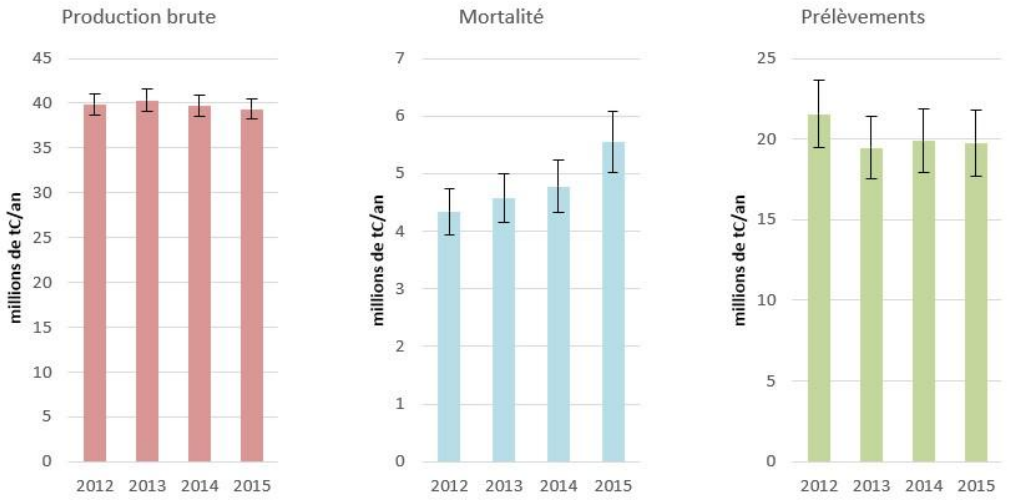


Figure 182 : Incertitudes sur la biomasse forestière : exemples sur les années 2012-2015

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 243 : 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.

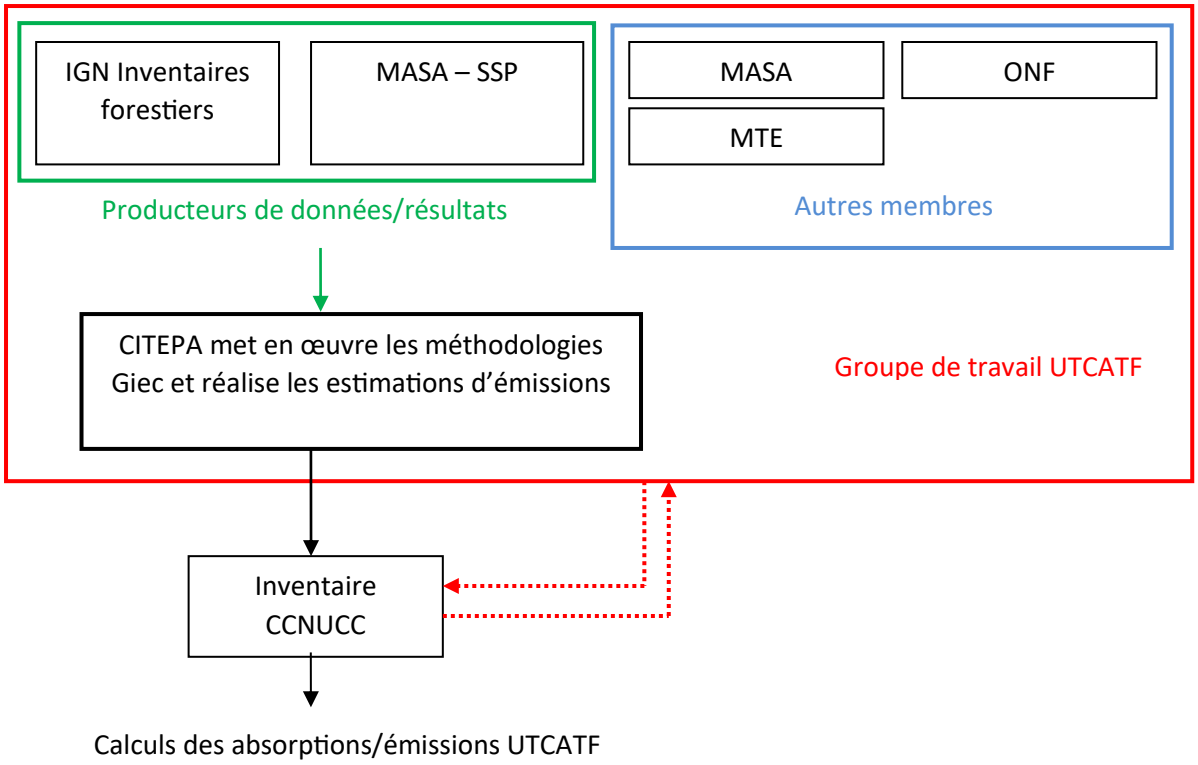


Figure 183 : Parties prenantes impliquées dans le processus d'élaboration de l'inventaire UTCATF

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

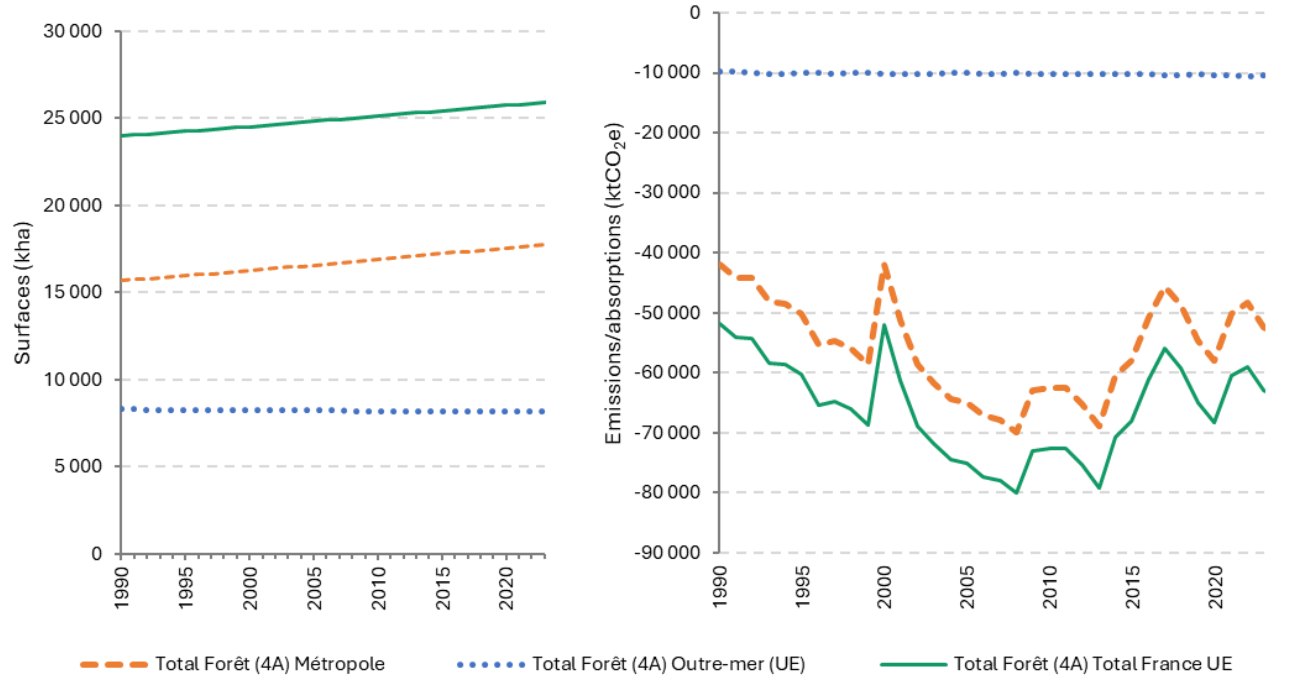
Généralités

La forêt constitue la plus grande partie du bilan de l'UTCATF. La superficie forestière en 2024 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 hexagonale 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 184 : Surfaces et Emissions / Absorptions en forêt



Source Citepa / format France UE - mars 2026

RapportageUTCATF.xlsx/NIR2

Tableau 244 : Surfaces en forêt (en milliers d'ha)

	Surfaces (kha)								
	Total Forêt (CRT 4A)			Forêt restant Forêt (CRT 4A1)			Terres devenant Forêt (CRT 4A2)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	15 685	8 297	23 982	13 803	8 290	22 093	1 882	7	1 889
1991	15 742	8 292	24 034	13 860	8 285	22 144	1 882	8	1 890
1992	15 799	8 288	24 087	13 917	8 279	22 196	1 882	9	1 891
1993	15 856	8 283	24 140	13 974	8 274	22 247	1 882	10	1 892
1994	15 913	8 279	24 192	14 031	8 268	22 299	1 883	11	1 893
1995	15 971	8 274	24 245	14 088	8 263	22 350	1 883	12	1 895
1996	16 028	8 270	24 298	14 144	8 257	22 402	1 884	13	1 897
1997	16 086	8 265	24 352	14 201	8 252	22 453	1 885	13	1 898
1998	16 145	8 261	24 406	14 258	8 246	22 505	1 887	14	1 901
1999	16 205	8 256	24 461	14 315	8 241	22 556	1 889	15	1 905
2000	16 264	8 252	24 516	14 372	8 236	22 608	1 891	16	1 908
2001	16 325	8 247	24 572	14 432	8 230	22 662	1 893	17	1 910
2002	16 386	8 243	24 629	14 491	8 225	22 716	1 894	18	1 913
2003	16 447	8 238	24 685	14 551	8 219	22 770	1 896	19	1 915
2004	16 509	8 234	24 743	14 611	8 214	22 825	1 898	20	1 918
2005	16 582	8 229	24 811	14 670	8 208	22 879	1 912	21	1 932
2006	16 654	8 225	24 879	14 729	8 203	22 932	1 924	22	1 946
2007	16 719	8 220	24 940	14 777	8 198	22 974	1 943	23	1 965
2008	16 786	8 216	25 001	14 825	8 192	23 017	1 961	24	1 985
2009	16 850	8 213	25 063	14 871	8 188	23 058	1 979	25	2 004
2010	16 913	8 210	25 123	14 918	8 183	23 101	1 995	27	2 022
2011	16 976	8 207	25 183	14 965	8 179	23 144	2 012	28	2 040
2012	17 039	8 204	25 242	15 011	8 174	23 186	2 027	29	2 057
2013	17 103	8 201	25 304	15 062	8 170	23 232	2 041	31	2 072
2014	17 168	8 198	25 365	15 113	8 166	23 279	2 055	32	2 087
2015	17 232	8 195	25 427	15 164	8 161	23 325	2 068	34	2 102
2016	17 296	8 192	25 488	15 215	8 157	23 372	2 080	35	2 115
2017	17 359	8 189	25 549	15 267	8 153	23 420	2 093	36	2 129
2018	17 423	8 187	25 610	15 318	8 149	23 467	2 105	38	2 142
2019	17 486	8 184	25 670	15 374	8 145	23 518	2 113	39	2 152
2020	17 550	8 181	25 732	15 429	8 141	23 570	2 121	41	2 162
2021	17 614	8 179	25 792	15 484	8 136	23 620	2 130	42	2 172
2022	17 677	8 176	25 853	15 539	8 132	23 671	2 139	44	2 182
2023	17 741	8 173	25 914	15 593	8 128	23 721	2 147	45	2 192
2024	17 805	8 170	25 975	15 649	8 124	23 773	2 156	46	2 202

Tableau 245 : 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)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	-41 952	-9 862	-51 814	-22 338	-9 833	-32 171	-19 614	-29	-19 643
1991	-44 130	-9 882	-54 012	-24 780	-9 840	-34 620	-19 350	-42	-19 392
1992	-44 289	-10 051	-54 340	-25 120	-10 001	-35 121	-19 169	-49	-19 219
1993	-48 191	-10 169	-58 361	-29 211	-10 113	-39 324	-18 980	-57	-19 037
1994	-48 435	-10 145	-58 580	-29 647	-10 081	-39 728	-18 787	-64	-18 851
1995	-50 145	-10 074	-60 219	-31 553	-10 003	-41 556	-18 592	-72	-18 663
1996	-55 373	-10 061	-65 435	-36 988	-9 983	-46 970	-18 386	-79	-18 464
1997	-54 658	-10 111	-64 770	-36 467	-10 025	-46 492	-18 191	-86	-18 278
1998	-55 890	-10 080	-65 970	-37 905	-9 986	-47 892	-17 984	-94	-18 078

1999	-58 605	-10 091	-68 696	-40 823	-9 990	-50 813	-17 782	-101	-17 883
2000	-41 853	-10 188	-52 041	-24 282	-10 080	-34 362	-17 571	-108	-17 679
2001	-51 125	-10 186	-61 310	-33 806	-10 070	-43 876	-17 319	-116	-17 434
2002	-58 700	-10 205	-68 905	-41 630	-10 082	-51 713	-17 070	-123	-17 193
2003	-61 771	-10 144	-71 915	-44 950	-10 014	-54 964	-16 821	-130	-16 951
2004	-64 386	-10 037	-74 423	-47 829	-9 899	-57 728	-16 557	-138	-16 695
2005	-64 985	-10 077	-75 062	-48 687	-9 932	-58 618	-16 298	-145	-16 443
2006	-67 069	-10 244	-77 313	-51 049	-10 091	-61 141	-16 019	-152	-16 172
2007	-67 837	-10 261	-78 098	-52 082	-10 102	-62 183	-15 755	-160	-15 914
2008	-69 924	-10 081	-80 005	-54 440	-9 914	-64 354	-15 484	-167	-15 651
2009	-62 871	-10 147	-73 018	-47 695	-9 962	-57 657	-15 177	-184	-15 361
2010	-62 501	-10 169	-72 670	-47 550	-9 968	-57 518	-14 951	-202	-15 152
2011	-62 489	-10 113	-72 602	-47 522	-9 894	-57 416	-14 967	-219	-15 185
2012	-65 171	-10 230	-75 401	-50 192	-9 994	-60 186	-14 979	-236	-15 215
2013	-68 905	-10 272	-79 177	-54 034	-10 019	-64 053	-14 871	-253	-15 124
2014	-60 510	-10 270	-70 780	-45 889	-9 999	-55 888	-14 622	-270	-14 892
2015	-58 024	-10 170	-68 194	-43 637	-9 883	-53 520	-14 386	-288	-14 674
2016	-50 729	-10 294	-61 023	-36 358	-9 990	-46 347	-14 371	-305	-14 676
2017	-45 610	-10 375	-55 985	-31 148	-10 053	-41 201	-14 462	-322	-14 784
2018	-48 744	-10 423	-59 167	-34 163	-10 083	-44 247	-14 581	-339	-14 920
2019	-54 788	-10 306	-65 093	-40 087	-9 949	-50 036	-14 701	-356	-15 057
2020	-57 996	-10 320	-68 316	-43 274	-9 946	-53 220	-14 722	-374	-15 096
2021	-50 119	-10 398	-60 516	-35 528	-10 007	-45 534	-14 591	-391	-14 982
2022	-48 387	-10 577	-58 964	-33 721	-10 170	-43 891	-14 665	-408	-15 073
2023	-52 478	-10 390	-62 868	-37 788	-9 965	-47 752	-14 691	-425	-15 116
2024	-53 815	-10 433	-64 248	-39 161	-9 991	-49 152	-14 653	-442	-15 096

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 (France hexagonale) 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

Pour les forêts sans changement d'usage, aucune émission de N2O n'est estimée. En revanche, comme pour l'ensemble des terres changeant d'usage, des émissions de N_2O liées à la minéralisation des sols sont estimées dans l'inventaire français pour les terres forestières changeant d'usage, dans tous les cas où le boisement entraine une perte de carbone des sols. Dans les faits, les stocks de carbone des sols en forêt et en prairies sont proches et il y a peu de cas où la conversion en forêt entraine des pertes de carbone et donc des émissions de N2O.

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 (France hexagonale) 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.

6.4.2.1 Approche et données

Approche générale

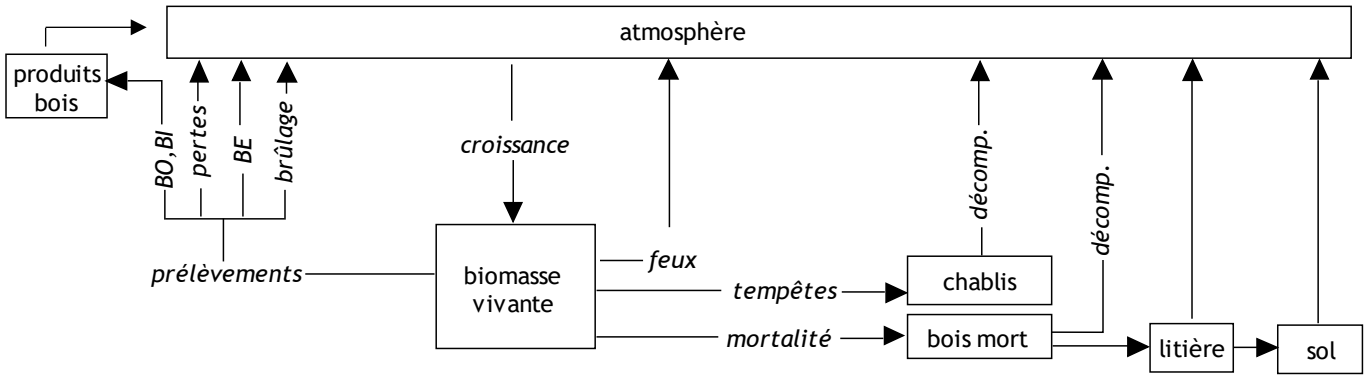
Les flux de carbone sont estimés en deux temps :

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.

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 185 : 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 à l'Annexe UTCATF_suividesterres.

Approche en France hexagonale

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).

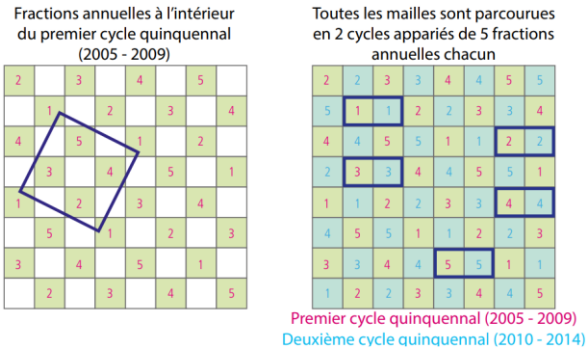
Méthodologie de l'IFN

« 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 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

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 km² 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®), des informations relatives à la couverture du sol, à son utilisation et à la taille des 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]

Intégration des campagnes de l'IFN dans l'inventaire

Pour la France hexagonale, 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 ;

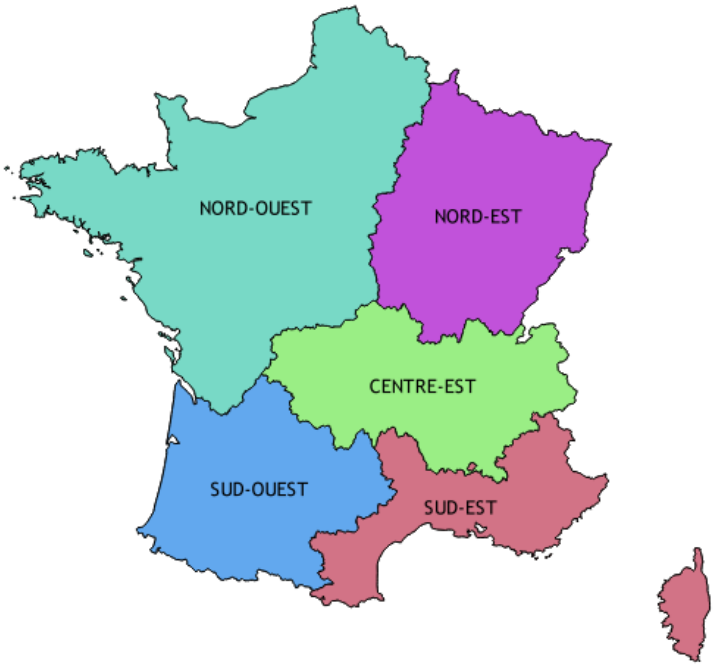


Figure 186 : Carte des interrégions IGN

- 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 246 : Campagnes de l'inventaire forestier national fournies par l'IGN utilisées dans l'inventaire UTCATF (France hexagonale)

			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	2024
	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																							
2025	2019-2023	2021																							

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 2019-2023, relative à l'année médiane 2021. Les trois dernières (2022 à 2024) années sont issues d'extrapolations.

Accroissement (ou production brute)

En France hexagonale, 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 hexagonale. 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 3 (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 totale et en carbone total grâce à l'utilisation de tarifs de cubage et de facteurs de conversion spécifiques. Pour obtenir des résultats de production en biomasse totale, l'Équation 3 est également utilisée. Le paramètre V''t (Volume de l'arbre l'année 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). Ces données de production sont fournies sur des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-2011, etc.) et 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 France hexagonale (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 hexagonale.

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 les données de production brute et de mortalité les valeurs utilisées pour les trois dernières années sont donc

temporaires (se référer au **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. L'extrapolation est réalisée en faisant la moyenne d es 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 247 : Mortalité annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN en France hexagonale (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

Les prélèvements annuels de bois correspondent au volume des arbres qui sont récoltés durant l'année. Ils constituent des pertes de carbone pour les réservoirs de biomasse vivante. Dans le GIEC 2006, cette grandeur correspond aux paramètres Lfellings et Lfuelwood de l'équation 2.11 traitant des pertes de carbone des terres forestières.

Équation 4 (Forêts) (basée sur l'équation 2.11 du Giec 2006 [672])

$$\Delta CFF_L = L_{wood\text{-}removals} + L_{fuelwood} + L_{disturbances}$$

Avec :

ΔCFF_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 248 : Paramètres et bilan pour la biomasse forestière totale en France hexagonale (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	-17 555	19 577
2006	41 160	-3 722	-17 485	19 953
2007	41 054	-3 768	-17 504	19 782
2008	40 966	-3965	-16 711	20 291
2009	40 677	-4 125	-17 713	18 839
2010	40 867	-4 042	-18 383	18 443
2011	40 156	-4 103	-17 750	18 303
2012	39 917	-4 340	-17 750	17 826
2013	40 324	-4 573	-16 659	19 092
2014	39 657	-4775	-16124	18 758
2015	39 325	-5556	-17065	16 704
2016	38 375	-6454	-16888	15 033
2017	37 524	-7851	-17614	12 059
2018	38 619	-9072	-18339	11 208
2019	39 528	-9929	-18836	10 763
2020	39 507	-11077	-18830	9 601
2021	38 462	-12283	-17975	8 204
2022	38 462	-12341	-18903	7 219
2023	38 462	-12399	-18780	7 283
2024	38 462	-13011	-18487	6 964

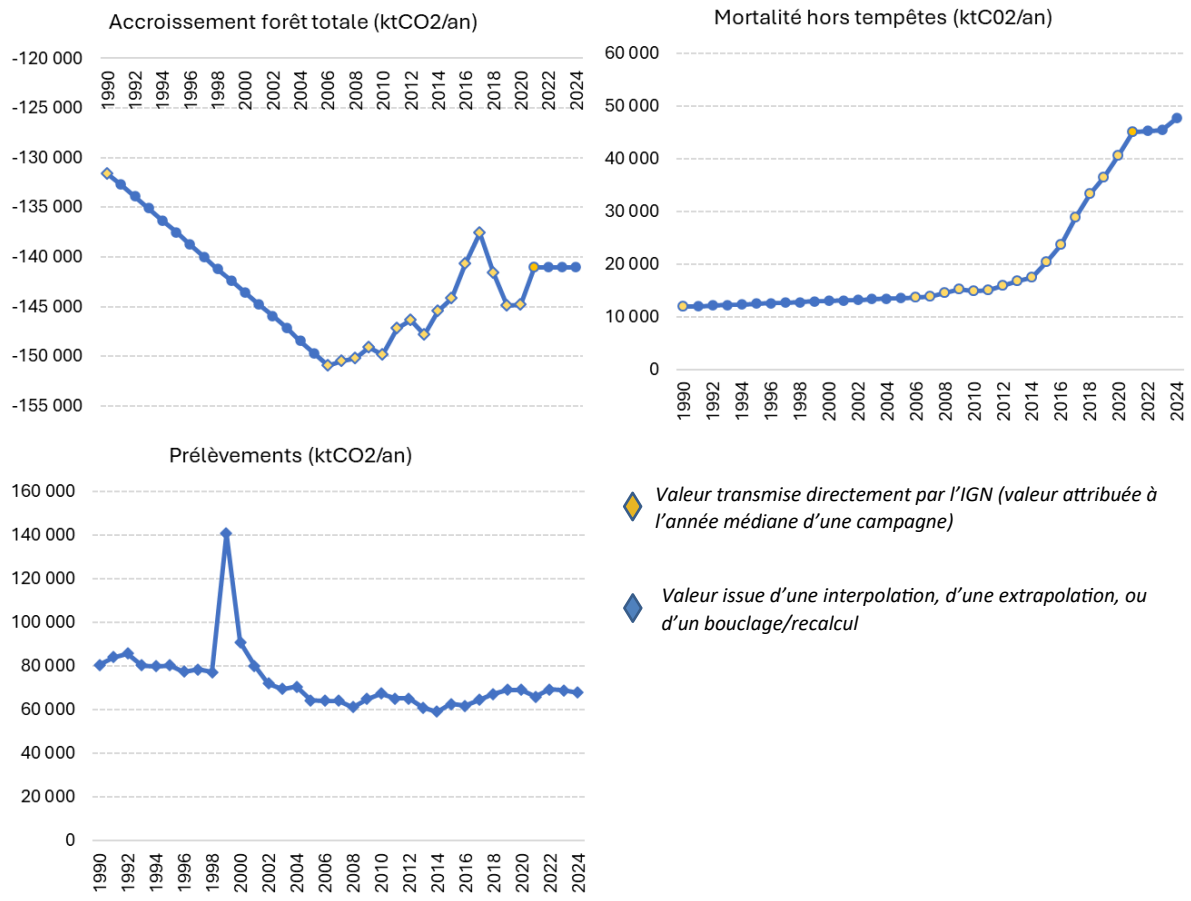


Figure 187 : Evolution des trois composantes principales du puits forestiers : accroissement, mortalité et prélèvements en forêt totale (France hexagonale) (Source : voir détail parties précédentes)

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 appliquée pour avoir un contrôle de l'approche bilan des flux.

Pour cela, les stocks de carbone transmis par l'IGN sont utilisés pour les années 2007 à 2020. Ces stocks sont basés sur les campagnes NFI sur 5 ans, où toute la grille est visitée (la première période est 2005-2009, attribuée à 2007). L'équipe de l'inventaire forestier ne recommande pas d'utiliser une comparaison directe de ces valeurs pour les variations annuelles des stocks (courbe bleue de la figure ci-dessous). Une comparaison a donc été proposée à partir de moyennes de cinq campagnes de ces stocks (courbe verte). La courbe violette est l'approche Citepa bilan des flux (le périmètre pris en compte est la biomasse vivante en France hexagonale, avec Forêt totale plus défrichements, nécessaire pour une comparaison à une variation nette des stocks forestiers). On remarque une bonne cohérence mais avec un écart sur les années récentes.

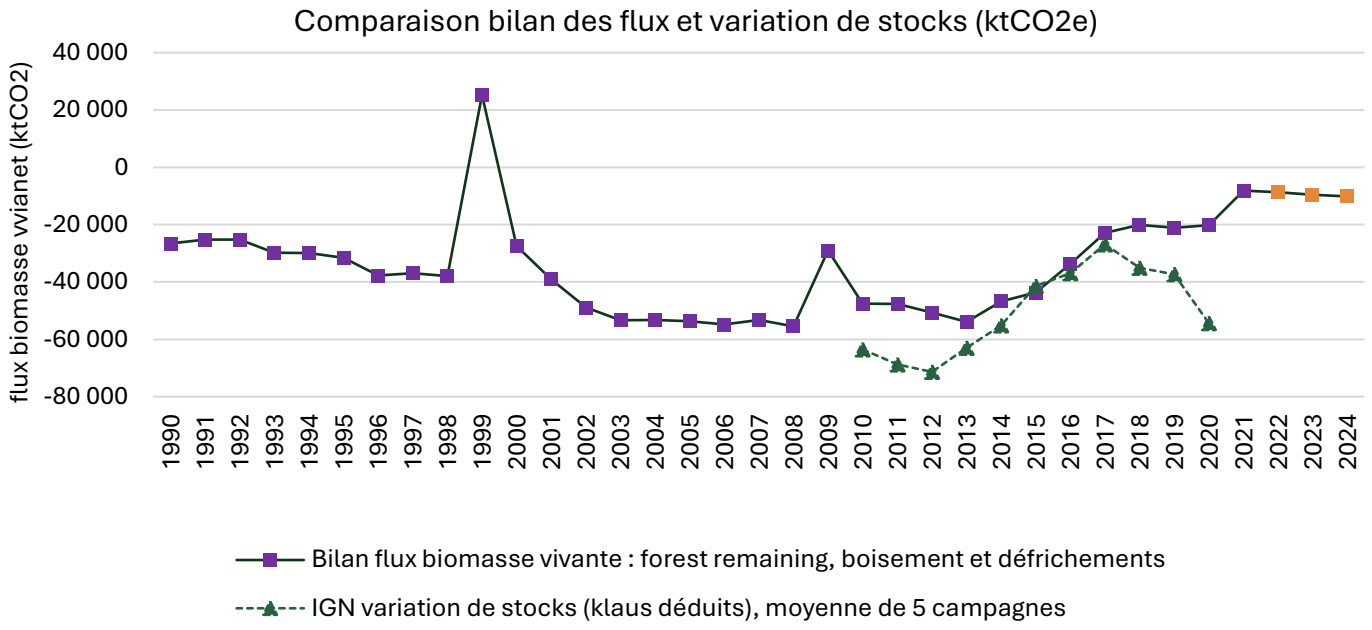


Figure 188: Comparaison des méthodes par variation de stock et bilan des flux pour la biomasse forestière.

Rappel : les 3 dernières années sont extrapolées dans l'approche Citepa bilan des flux (années non consolidées, affichées en jaune dans la figure ci-dessus).

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 concessions ONF), 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 était appliquée jusqu'à l'édition 2025. En réponse à la Comprehensive Review LULUCF de 2025, une estimation a été proposée pour l'ensemble des forêts, perturbées ou non perturbées.

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, pour les terres ayant été boisées depuis moins de 20 ans, la valeur de 1tC/ha/an [328] est utilisée, en cohérence avec la valeur utilisée pour estimer l'accroissement pour les terres ayant subi une exploitation. Pour toutes les autres forêts (forêts exploitées depuis plus de 20 ans, boisées depuis plus de 20 ans, ou n'ayant jamais subi une exploitation), une hypothèse de neutralité était préalablement appliquée dans l'inventaire (avant l'édition 2026). L'existence d'une méthode Giec Tier 1 mobilisable et les éléments scientifiques concordants issus de la littérature indiquant la présence d'un puits de carbone ont mené à la décision d'intégrer une estimation de l'évolution de la biomasse pour toutes les forêts. Ces éléments, ainsi que les incertitudes associées sont discutés dans l'encadré ci-dessous.

Pour proposer cette estimation, diverses sources de données ont été étudiées. Les mesures issues du réseau de placettes Guyafor sont retenues [1416]. Sur ces parcelles, les arbres de diamètre à 1m30 supérieurs à 10 cm sont cartographiés, identifiés botaniquement et mesurés à une fréquence allant de 1 à 5 ans. Plus précisément, ce calcul ne mobilise que les parcelles n'ayant pas fait l'objet d'une expérimentation sylvicole, et qui sont donc considérées comme non perturbées. L'analyse a été conduite sur 602 quadrats de 0,25 ha répartis sur 12 sites. La durée du suivi de chacune des parcelles est comprise entre 4 et 40 ans (médiane 17 ans). L'analyse de ces données n'est pour l'instant pas publiée mais une note a été fournie par les experts du Cirad pour proposer une valeur d'accroissement

net de la biomasse aérienne par hectare (G. Derroire 2025 [1415]). Les mesures de Paracou sont exclues car ce sont des forêts qui ont subi une gestion forestière. Le stock de carbone aérien a été calculé pour chacune en utilisant les équations allométriques de Chave et al. (2014) [1417]. Ceci donne une valeur de stockage de stockage annuel de carbone aérien moyen de 0,28tC/ha/an. Pour inclure la biomasse souterraine, un facteur d'expansion racinaire de 0,235 est utilisé (MOKANY, RAISON, and PROKUSHKIN 2005 [1418]), ce qui donne une estimation de 0,35 tC/ha/an de stockage de carbone dans la biomasse aérienne et racinaire. En l'absence d'étude sur le stockage dans la matière organique du sol, l'hypothèse de neutralité est maintenue pour ce compartiment.

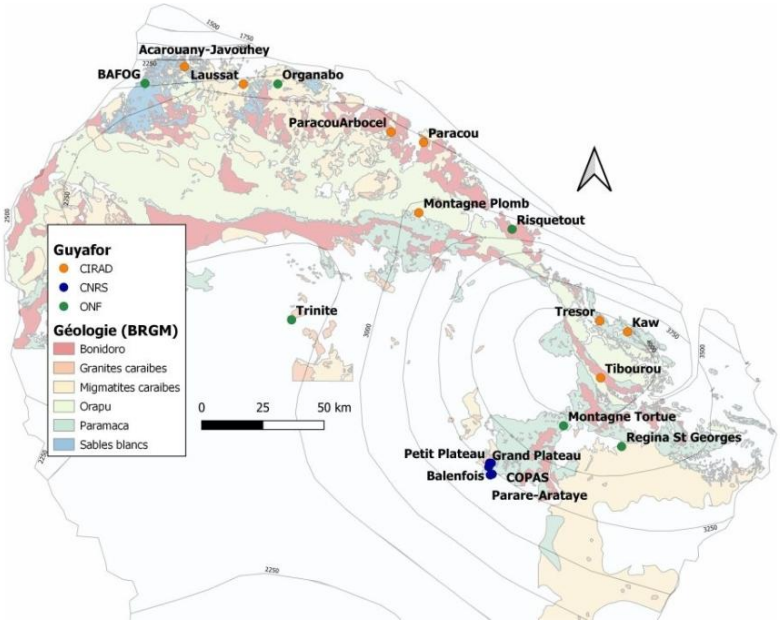


Figure 189: Emplacement des placettes Guyafor [1416].

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 5 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.3 du Giec 2006 [672])

$$\Delta CFF = (\Delta CFF_{LB} + \Delta CFF_{DOM} + \Delta CFF_{Soils})$$

Avec :

ΔCFF	=	Variation de stock annuelle dans l'ensemble des stocks de carbone des forêts restant forêts, t C/an
ΔCFF_{LB}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an
ΔCFF_{DOM}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse morte (bois mort et litière inclus) des forêts restant forêts, t C/an
ΔCFF_{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 6 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.3 du Giec 2006 [672])

$$\Delta CLF = (\Delta CLF_{LB} + \Delta CLF_{DOM} + \Delta CLF_{Soils})$$

Avec :

ΔCLF	=	Variation de stock annuelle dans l'ensemble des stocks de carbone des terres devenant forêts, t C/an
ΔCLF_{LB}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante (aérienne et souterraine) des terres devenant forêts, t C/an
ΔCLF_{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)
ΔCLF_{Soils}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la matière organique du sol des terres devenant forêts, t C/an

6.4.2.2 Forêts restant Forêts (4A1)

Biomasse vivante (terres forestières restant terres forestières)

Calcul de la variation de stock (ΔCFFLB)

Rappel approche générale

Les flux de carbone sont estimés en deux temps :

- 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 à l'annexe UTCATF_suividesterres.
- 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 7 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.4 du Giec 2006 [672])

$$\Delta CFF_{LB} = \Delta CFF_{modele} + (\Delta CFF_G - \Delta CFF_L)$$

Avec :

ΔCFF_{LB}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an
ΔCFF_{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
ΔCFF_G	=	Gains annuels en carbone de la biomasse vivante type forêt, hors modèle, t C/an
ΔCFF_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 8 (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 :

ΔCFF_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 hexagonale. 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 9 (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 10 (Forêts)

$$\Delta CFF_L = \Sigma_{ij} (P_FF_{ij} + Mortalité_FF_{ij}) \bullet CF$$

Avec :

ΔCFF_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) - France hexagonale

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

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

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]	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 11 (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 12 (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 13 (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 » - Bois d'œuvre et d'industrie

Les récoltes de bois d'œuvre et bois industrie sont estimées à partir des données de récoltes commerciales. En France hexagonale, 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]. La part de bois énergie des récoltes commerciales n'est pas utilisée depuis cette source, mais les statistiques de ventes de bois d'œuvre et d'industrie en sont extraites.

Méthode « modèle » - Bois énergie

La récoltes de bois énergie est issue de diverses sources et l'ensemble du modèle est décrit ci-dessous. Une part de la récolte est non commerciale, il s'agit essentiellement de prélèvement pour le bois de feu, 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 14 (Forêts)

$$Récolte_BE_{(i)} = (Frac_1 \bullet Conso_BE_{(i+2)} + Frac_2 \bullet Conso_BE_{(i+3)}) \bullet FCV$$

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

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

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 15 : (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 249 : Récoltes de bois matériau et bois énergie en France hexagonale depuis 1990 fournies par le SSP [200] et le bilan de l'énergie [1]

						rapportageUTCATF.xls /OMINEA	
ANNEE	BOIS D'OEUVRE (feuillus) (1000 m³) [200]	BOIS D'OEUVRE (résineux) (1000 m³) [200]	BOIS D'INDUSTRIE (feuillus) (1000 m³) [200]	BOIS D'INDUSTRIE (résineux) (1000 m³) [200]	BOIS CHAUFFAGE SSP (1000 m³) [200]	BOIS ENERGIE total en forêt SDES (1000 m³) [1]*	BOIS ENERGIE hors forêt SDES (1000 m³) [1]*
1990	10 156	15 260	5 194	5 808	2 541	25 397	8 630
1991	9 724	14 077	5 435	6 283	2 702	27 402	4 345
1992	9 043	13 340	5 459	6 513	2 737	28 991	4 191
1993	8 033	12 509	4 732	5 901	2 755	29 808	3 753
1994	8 131	13 767	5 479	6 876	2 588	27 918	4 096
1995	8 290	14 374	5 523	7 271	2 471	26 431	4 234
1996	7 771	13 649	4 820	6 130	2 644	26 043	3 860
1997	7 845	14 245	5 342	6 495	2 770	25 830	4 053
1998	7 863	15 107	5 228	6 342	2 809	25 434	4 107
1999	7 952	15 240	5 366	6 503	2 771	23 893	4 182
2000	9 598	22 619	5 342	8 561	2 388	23 348	5 223
2001	7 642	18 952	4 788	8 477	2 359	22 323	4 504
2002	6 002	16 631	4 913	7 146	2 713	21 486	3 953
2003	5 719	15 120	5 142	6 283	2 287	21 524	3 741
2004	5 671	15 240	5 355	6 826	2 358	21 501	3 822
2005	5 858	14 741	5 375	6 799	3 547	22 094	3 811
2006	5 854	15 633	5 164	6 820	4 030	21 645	3 841
2007	6 343	16 427	5 315	6 870	3 754	22 478	4 022
2008	6 086	15 048	4 983	6 384	4 029	22 423	3 772
2009	5 228	17 265	4 113	8 235	5 516	23 624	3 862
2010	5 121	15 922	4 386	9 819	6 712	24 867	3 893
2011	5 505	15 492	4 481	8 142	8 488	24 628	3 767
2012	4 978	13 239	4 643	6 693	7 847	25 142	3 386
2013	4 862	13 673	4 255	6 148	9 902	24 055	3 281
2014	5 209	14 136	4 722	6 400	9 959	25 022	3 479
2015	5 145	13 673	4 717	6 025	11 307	25 192	3 396
2016	5 392	13 698	4 615	5 945	11 931	27 105	3 411
2017	5 304	14 127	4 584	5 958	12 814	28 571	3 429
2018	5 443	14 599	4 614	5 726	13 147	29 672	3 472
2019	5 313	14 245	4 420	6 112	8 061	29 256	3 418
2020	4 751	13 712	4 104	5 918	8 135	28 677	3 192
2021	5 015	15 838	4 037	6 088	9 389	29 220	3 409
2022	5 294	14 691	4 233	6 078	9 602	29 127	3 405
2023	4 813	13 698	4 025	6 239	10 365	29 710	3 227
2024	4 485	13 813	3 652	6 394	9 740	28 467	3 132

*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 16 : (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 $P_{ciblésBE_i} = \text{Récoltes}_{\text{cibléesBE}_i} * BEF_BE$

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)

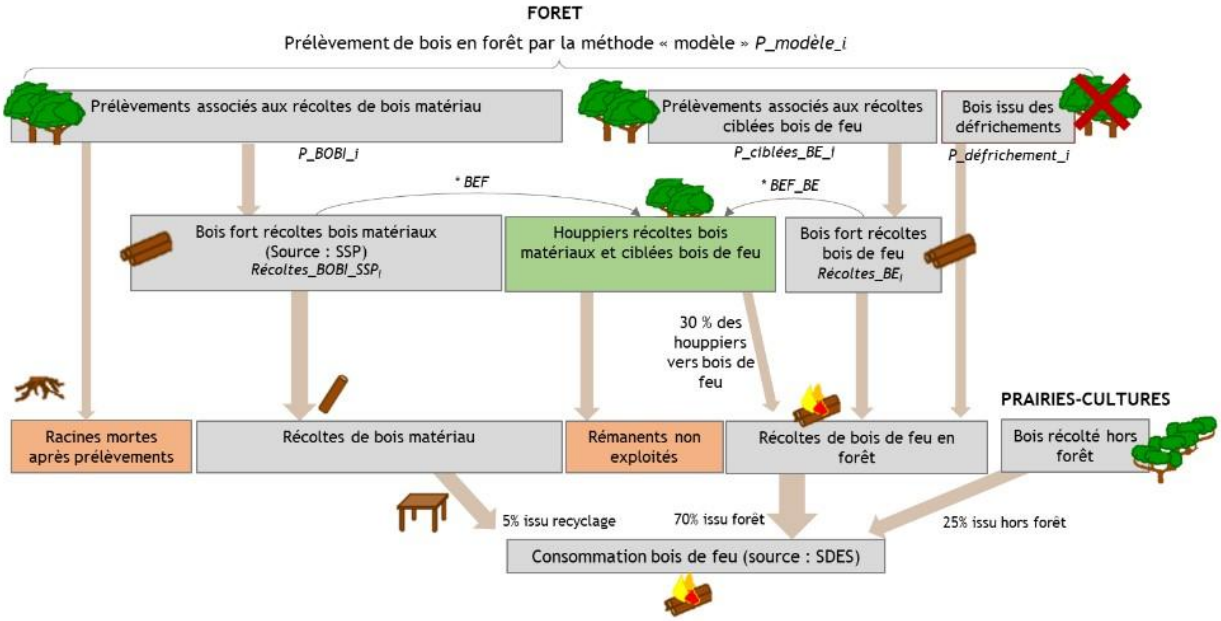


Figure 190: Représentation schématique de la méthode (dite « modèle ») d'estimation des émissions liées aux récoltes de bois).

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 250 : Facteurs d'expansion utilisés pour les prélèvements de bois matériau.

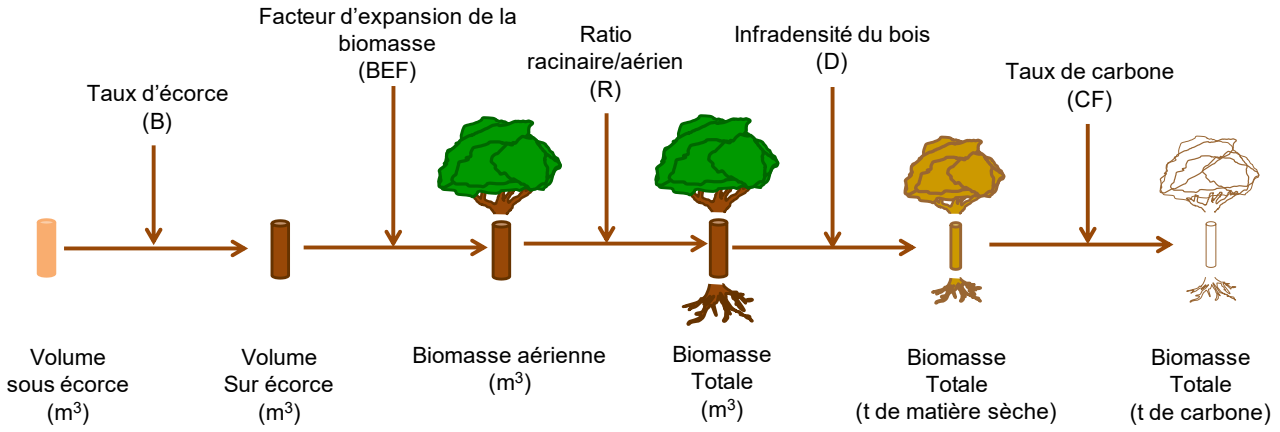
	PUREMENT FEUILLU	MIXTE	PUREMENT CONIFERE	PEUPLERAIE
CENTRE-EST	1,65	1,45	1,27	1,42
NORD-EST	1,56	1,47	1,25	1,42
NORD-OUEST	1,59	1,53	1,30	1,42
SUD-EST	1,94	1,62	1,39	1,42

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 191 : 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 251 : Infradensité utilisées pour les principales essences [598].

Essence	Densité en tMS/m³	Essence	Densité en tMS/m³
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 17 : (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.

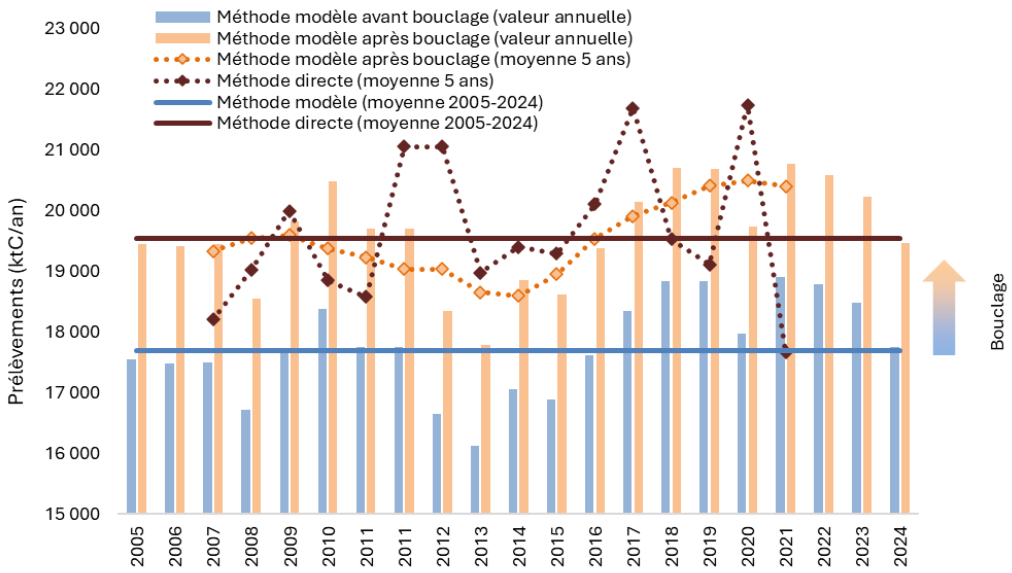


Figure 192 : Représentation de l'ajustement sur la base des données de prélèvement direct issues de l'IFN (en tC aérien et racinaire).

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.

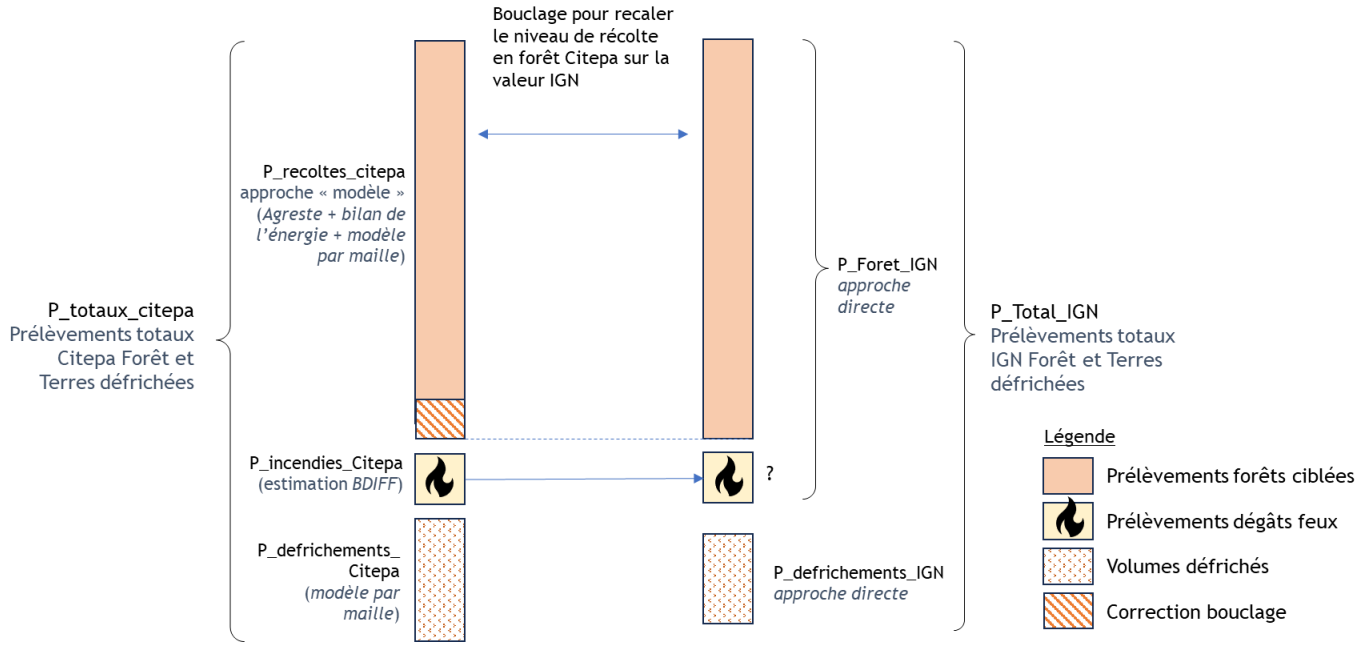


Figure 193 : Explications recalage Récoltes Citepa sur les prélèvements IGN.

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 18 : (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 252 : Données forestières pour les départements d'Outre-mer

	Guadeloupe	Martinique	Guyane	La Réunion	France hexagonale
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 hexagonale 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 19 : (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).

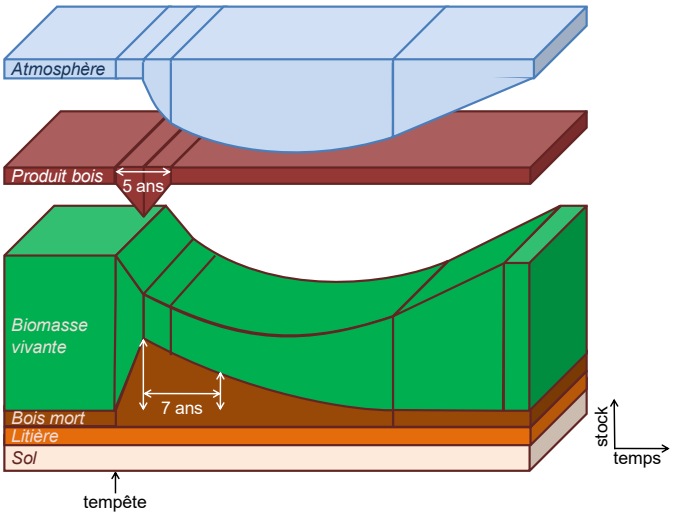
Mortalité exceptionnelle - tempêtes

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 194 : 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 20 (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 21 (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 :

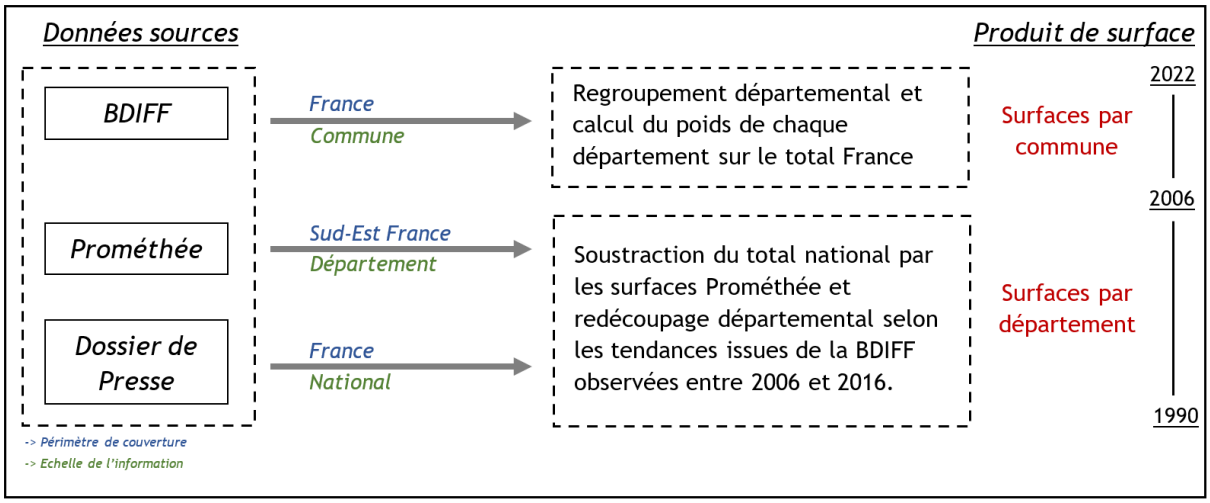
- La Base de données des feux de forêt en France (BDIFF) [723] qui couvre l'ensemble de la France hexagonale depuis 2006 avec un niveau d'information renseigné à l'échelle de la commune.

- 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 hexagonale 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 France hexagonale 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 195 : 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). Les données MODIS sont utilisées pour la détection des feux en Guyane [1205]. En Outre-mer hors UE, des surfaces brulées sont uniquement rapportées en Nouvelle-Calédonie, sur la base de produits satellites (VIIRS [1396] sur 2012-2025).

Tableau 253 : Surfaces incendiées en France depuis 1990

ANNEE	METROPOLE (Zone Prométhée)	METROPOLE (Zone hors Prométhée)	OUTRE-MER (inclus dans l'UE)	OUTRE-MER (hors UE - PTOM)
1990	53 897	18 728	1440	15 597
1991	6 549	3 581	1420	15 597
1992	12 765	3 828	1439	15 597

ANNEE	METROPOLE (Zone Prométhée)	METROPOLE (Zone hors Prométhée)	OUTRE-MER (inclus dans l'UE)	OUTRE-MER (hors UE - PTOM)
1993	11 901	4 797	1428	15 597
1994	22 605	2 390	1418	15 597
1995	9 988	8 149	1451	15 597
1996	3 119	8 281	1887	15 597
1997	12 250	9 331	1400	15 597
1998	11 243	8 039	1496	15 597
1999	12 782	3 124	2193	15 597
2000	18 860	5 218	1405	1 542
2001	17 965	2 677	1478	5 648
2002	6 298	23 871	981	38 424
2003	61 424	11 576	1558	17 875
2004	10 596	3 104	2980	31 481
2005	17 356	5 044	4554	13 843
2006	5 234	1 790	940	14 343
2007	6 343	713	571	5 415
2008	3 491	1 219	4581	3 117
2009	10 751	3 768	1846	11 575
2010	5 897	2 627	2727	10 010
2011	3 993	2 807	2749	13 850
2012	3 858	3 715	2286	4 232
2013	1 838	895	399	12 170
2014	3 814	919	1533	16 103
2015	2 771	4 951	1041	15 836
2016	12 039	2 049	3210	16 785
2017	19 335	3 708	158	38 026
2018	2 995	943	1631	10 361
2019	7 758	5 371	2129	39 536
2020	7 131	3 679	356	5 892
2021	10 509	2 327	224	17 065
2022	14 680	44 012	525	2 283
2023	3 953	1 110	3926	20 000
2024	2 358	332	3918	21 274

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 22 (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 hexagonale)
$A_{burnt(i)}$	=	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 254: 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.

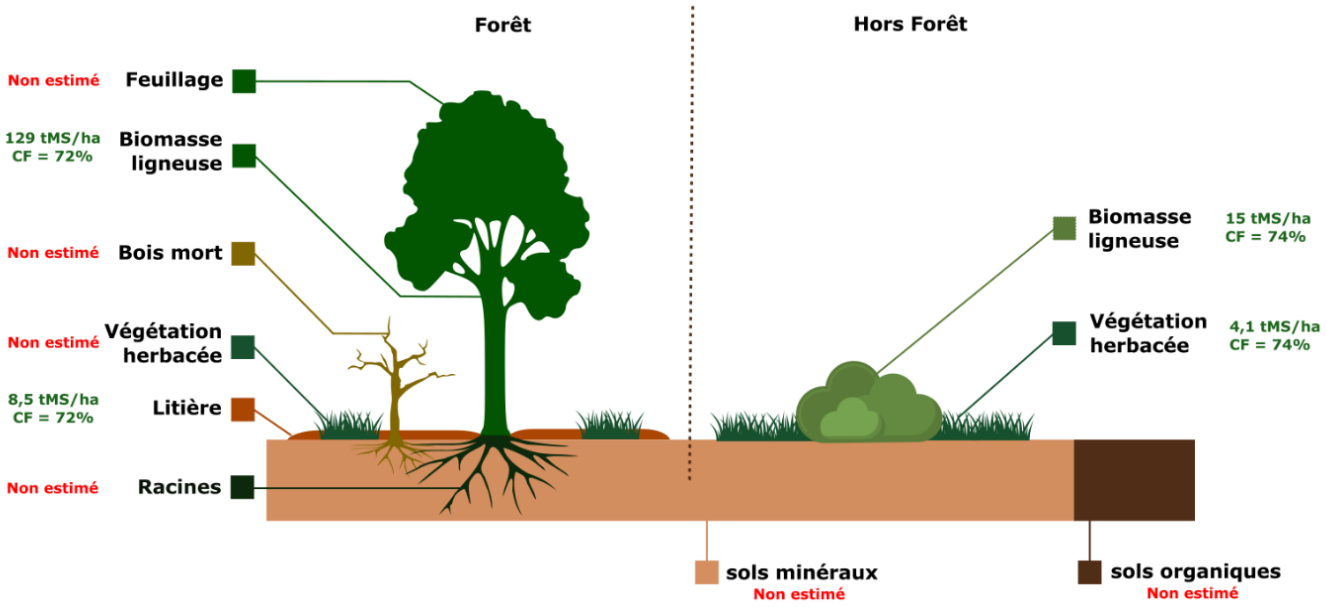
Tableau 255 : Facteurs de combustion par compartiment carbone en fonction des surfaces incendiées

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 196 : 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)

Calcul de la variation de stock (ΔCFF_{DOM})

Les variations de stock de carbone pour la biomasse morte sont ensuite décomposées entre bois mort et litière.

Équation 23 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.17 du Giec 2006 [672])

$$\Delta CFF_{DOM} = \Delta CFF_{DW} + \Delta CFF_{LT}$$

Avec :

ΔCFF_{DOM}	=	Variation annuelle de stock dans la biomasse morte dans les forêts restant forêts, t C/an
ΔCFF_{DW}	=	Variation de stock dans le bois mort dans les forêts restant forêts, t C/an
ΔCFF_{LT}	=	Variation de stock dans la litière dans les forêts restant forêts, t C/an

Bois mort (terres forestières restant terres forestières)

La méthode générale d'estimation de la variation de bois mort est la suivante :

Équation 24 (Forêts) (Méthode des flux inspirée de l'équation 2.19 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CFF_{DW} = \Delta CFF_{modele} + \left([A \bullet (B_{t2} - B_{t1}) / T] \bullet CF - \Delta CFF_{modele} \right)$$

Avec :

ΔCFF_{DW}	=	Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les forêts restant forêt, tC/an
ΔCFF_{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 Annexe UTCATF_suividesterres*), 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 tonnes de carbone, par interregion et type de peuplement 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 256 : 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 (ktC)
2008	92 360
2009	101 290
2010	98 587
2011	97 217
2012	98 590
2013	96 223
2014	98 274
2015	93 549
2016	96 521
2017	90 454
2018	96 280
2019	104 648
2020	107 686
2021	114 686
2022	120 112
2023	129 768
2024	136 161

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)

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 CARBONE de l'annexe UTCATF_suividesterres).

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 la litière ne sont pour l'instant pas estimés.

Regain de litière post combustion par feux de forêt

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 CARBONE de l'annexe UTCATF_suividesterres*), 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.

6.4.2.3 Terres devenant Forêts (4A2)

Biomasse vivante (terres devenant terres forestières)

Calcul de la variation de stock (ΔCLF_{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 25 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.4 du Giec 2006 [672])

$$\Delta CLF_{LB} = \Delta CFF_{modele} + (\Delta CLF_G - \Delta CLF_L)$$

Avec :

ΔCLF_{LB}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante type forêt (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an
ΔCLF_{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
ΔCLF_G	=	Gain annuel en carbone de la biomasse vivante type forêt, t C/an
ΔCLF_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, biomasse ligneuse type culture pérenne, biomasse herbacée type culture annuelle et biomasse herbacée type herbe. Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir la section CARBONE de l'annexe UTCATF_suividesterres).*

Flux estimés en complément

Des flux de mortalité sont estimés en complément uniquement pour la biomasse vivante de type forêt.

Gains (ΔCLF_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.

Pertes (ΔCLF_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 26 (Forêts)

$$\Delta CLF_L = \Delta CLF_L_modele + \Sigma_{ij} (Mortalité_LF_{ij}) \bullet CF$$

Avec :

ΔCFF_L	=	Pertes totales
ΔCFF_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.

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 27 (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)

Les variations de stock de carbone pour la biomasse morte sont décomposées entre bois mort et litière.

Bois mort (terres devenant terres forestières)

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 (*voir la section CARBONE de l'annexe UTCATF_suividesterres*).

Litière (terres devenant terres forestières)

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. Ce stockage est estimé par la méthode de la variation de stock à la maille.

Matière organique du sol (terres devenant terres forestières) – sols minéraux

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 France hexagonale

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. Une comparaison approche bilan des flux et approche par variation de stock est réalisée, comme mentionné plus tôt (Forêt, section 6.4.2. - discussion).

Forêt en Outre-Mer

L'hypothèse de neutralité dans les DOM hors Guyane 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, et pour les autres forêt une valeur nationale est appliquée. 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 257 : 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 258 : 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 259 : 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 [611] + Rapport ONF Guyane. CIRAD [328]	Volumes de grumes prélevés.	IEDOM [611]	Volumes de grumes prélevés.	IEDOM [611]	Volumes de grumes prélevés.	IEDOM [611]
	Volumes de bois de chauffe+ autres bois industriels	FAOSTAT	Bois de chauffe+ Autres bois industriels.	FAOSTAT	Bois de chauffe+ Autres bois industriels.	FAOSTAT	Bois de chauffe+ Autres bois industriels.	FAOSTAT
			Récoltes dans les forêts gérées par ONF (2010).	Agreste 2012 [532]	Récoltes dans les forêts gérées par ONF(2010).	Agreste 2012 [532]	Récoltes dans les forêts gérées par ONF (2010).	Agreste 2012 [532]
D	0,73.	Rapport ONF Guyane. CIRAD [328]	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 [204]	0,475	Carbofor. INRA [204]	0,475	Carbofor INRA. [204]	0,475	Carbofor INRA. [204]

* 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 [611], pour les années disponibles, qui sont plus précises que les statistiques de la FAO. On complète si nécessaire avec les données du mémento Agreste [532] 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 pour connaitre le volume total prélevé.

Tableau 260 : 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 261 : 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 un calcul est réalisé sur les surfaces effectivement sujettes à une exploitation, puis un facteur national est utilisé pour l'accroissement net sur les autres forêts.

6.4.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRT 4A

Inventaire	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	-51 814	-60 219	-52 041	-75 062	-72 670	-72 602	-75 401	-79 177	-70 780	-68 194	-61 023	-55 985	-59 167	-65 093	-68 316	-60 516	-58 964	-62 868	-64 248
Différence	kt CO2e	-6 555	-9 633	-9 546	-4 632	-7 242	-7 141	-8 078	-8 491	-8 592	-9 236	-8 794	-11 198	-10 879	-16 127	-17 002	-13 905	-12 662	-11 822	-64 248
	%	+14%	+19%	+22%	+7%	+11%	+11%	+12%	+12%	+14%	+16%	+17%	+25%	+23%	+33%	+33%	+30%	+27%	+23%	-

Source Citepa / mars_2026 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

- L'ajout du flux de séquestration systématique sur les forêts non perturbées en Guyane (jusqu'ici considérées à l'équilibre) est à l'origine des principaux recalculs. Ce flux est appliqué de façon constante sur toute la série en phase avec les méthodes Tier 1 du Giec 2006 associée à des paramètres spécifiques à la zone.
- 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. La méthode d'extrapolation utilisée en début et en fin de série pour compenser l'absence de données spatialement explicites a été révisée. L'intégration de nouvelles données a réduit le périmètre nécessitant une extrapolation, induisant un recalcul sur les années récentes.
- L'intégration de la nouvelle campagne IGN 2019-2023 utilisée pour l'année médiane 2021 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.
- L'ajout d'une cinétique de dégradation d'ordre 1 sur les pertes de biomasse racinaire à la suite des prélèvements génère un recalcul par rapport à la méthode jusqu'ici appliquée reposant sur une perte totale des stocks de biomasse racinaire l'année du prélèvement.
- Une révision de la méthode d'estimation des flux de carbone pour le compartiment bois mort est également à l'origine de recalculs, visible à partir des années 2015. La méthode est dorénavant appliquée à l'échelle des interrégions (données préalablement fournies par l'IGN sur la France entière), par type de peuplements et un retravail a été réalisé sur la prise en compte différentiée du bois morts résultant de la mortalité naturelle et issue des tempêtes.

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.

Le changement de méthode sur les forêts non exploitées de Guyane résulte d'une demande de correction technique issue de la Revue de l'UE dans le cadre règlements LULUCF 2018/841 ainsi que Gouvernance 2018/1899.

De manière générale, les changements et évolutions méthodologiques s'inscrivent dans une démarche d'amélioration continue de l'inventaire national. Ils répondent principalement à la disponibilité de nouvelles données ainsi qu'à la nécessité d'affiner l'approche spatiale des estimations.

6.4.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2025, 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 (6.L.6, 2025) 4.A Forest land - CO2	The Party reported that mesh stock variation model estimates annual carbon fluxes using 50-meter grid cells, with land use classifications assigned from the multisource model and carbon stocks allocated based on corresponding land use or cover types. However, while LULUC classifications rely on cartographic sources, emission factors are derived from forest types observed in National Forest Inventory (NFI) plots. It was not clear to the TERT if and how these two different spatial domains are used, potentially leading to inconsistencies when land use categories in the grid cells do not align with NFI-based emission factor classifications. During the review, France clarified that the exact locations of NFI plots are not shared by the NFI team, preventing direct spatial verification or alignment with the grid cells used in the stock variation model. Biomass flux data are instead provided by forest type and administrative interregion. The Party explained that changes in carbon stocks at the 50 m × 50 m grid cell level are calculated only for land use change detection. These estimates help attribute part of the total fluxes to specific LULUC transitions. The TERT recommends the Party to improve spatial coherence (statistical domain) between the land use classifications from the multisource model and the forest type data used to derive emission factors. Although direct plot-level matching is not possible, in order to avoid potential bias and to increase the accuracy of the emissions estimations, the TERT recommends developing a methodological framework to harmonize aggregated NFI data with area LULUC estimations obtained from grid-based classifications, ensuring that emission factors reflect the land cover conditions observed in the spatial model or vice versa.	2025 Draft BTR review report	Not implemented yet. It is unlikely that we build a complete plot level matching between land use data and NFI data. There are some mismatches between IGN cartographic data and NFI sampling data. But we keep progressing towards a relevant inclusion of NFI data in our model to ensure that emission factors reflect the land cover conditions observed in the spatial model.

LULUCF (6.L.7, 2025) 4.A Forest land - CO2	The Party reported that in mainland France, carbon stock estimates for above-ground biomass, deadwood, litter, and soil organic carbon are derived from sample-based approaches using data from IGN, Renecofor, and RMQS, and are statistically representative at the stratum level (e.g., sylvoecoregion, GRECO, or soil-climate zone). These values are applied within the 50-meter grid of the mesh stock variation model. To the TERT it was not clear what the rationale was for using stratum-level averages at such fine spatial resolution, and whether the associated uncertainty estimates were also applied at the grid level and used in Monte Carlo simulations to assess overall uncertainty. During the review, the Party clarified that although land use is monitored at a high spatial resolution using a 50 m × 50 m grid, this does not mean that all input data or parameters are available or applicable at that same resolution. The examples provided by the TERT illustrate this well. For instance, in the case of mineral soils, carbon stock values are assigned based on geographic location, using classes that combine soil type and climate. These classifications were designed to ensure a sufficient number of sample plots per class, making them statistically representative. For forest biomass, a different classification approach is applied, but it still provides complete spatial coverage. As a result, it is possible to assign the necessary parameter values to each grid cell based on its location within the classification framework. The TERT recommends that the Party assess and, where appropriate, apply a revision of the methodology used to assign carbon stock values derived at the stratum level to 50-meter grid cells. To minimize in future reports potential bias on uncertainty estimations, the TERT recommends to report on alternative approaches that ensure EF and LULUCF area estimates are applied at compatible and appropriate levels of representativeness.	2025 Draft BTR review report	According to us the disaggregation of data at high resolution does not increase the uncertainty on the global result which is aggregated at the end. No real gap was identified in current NIR.

LULUCF (6.L.8, 2025) 4.A Forest land - CO2	Section 6.3.4 of the Party's NID states that gross production uncertainty is based solely on sampling error, with a fixed 5% value used to account for additional sources such as inter-annual variability, measurement errors, and allometric equation parameters. , It was not clear to the TERT what the rationale and justification was for assuming that this fixed value sufficiently captures the combined impact of these various uncertainty sources. During the review, the Party explained that the rough information regarding standard deviation on growth volume is actually 3% from NFI. This is correct that there is additional uncertainty related biomass expansion factors and carbon content which are maybe not enough visible through the use of 5% uncertainty for the entire growth in carbon. The Party acknowledges that all uncertainty may not be included in such a value, but they it remains that they are quite confident in the values of growth due to the checks that are made (for instance with carbon stock change method). The TERT recommends that the Party implement a more comprehensive uncertainty analysis (associated to random errors) by using at least Approach 1 (the analytical approach), as outlined in the IPCC Guidelines. According to the IPCC Guidelines (Vol. 1, Ch. 3, Section 3.1.1) for gross production estimates by explicitly quantifying all major sources of uncertainty—such as sampling error, biomass expansion factors, carbon content, and allometric equations—and combining them using formal uncertainty propagation methods (e.g., Monte Carlo or analytical approaches). This would improve the transparency of the reported uncertainty values.	2025 Draft BTR review report	Not implemented yet. The improvement of the uncertainty analysis on forest fluxes will be considered for next submissions. It may also include informations regarding the stocks evolution that is used as quality control.

Suite à la revue de l'UE de 2025, 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-4A1-2025-0002 4A1 Forest land remaining forest land, CO2, 1990-2023	For 4A1 Forest Land Remaining Forest Land in all years, the TERT noted that the NID indicates "une hypothèse de neutralité est appliquée" (an assumption of carbon neutrality is applied) - i.e. no annual C stock change estimates prepared for managed undisturbed Forest Land Remaining Forest Land in Guiana (p614). The same assumption of carbon neutrality is applied to the area of the "zone exploitée" where no harvest has previously occurred or where the forest has fully recovered from past selective harvest - i.e. annual C stock changes are only estimated in the year where the harvest occurs and in the following years assuming a rate of regrowth. Assuming living woody biomass C stocks at	LULUCF ESR review report 2025	After the centralized review, France had the opportunity to gather experts to consolidate the value used for net biomass change in forest remaining forest in French Guiana. In the PTC, the TERT used a value from Phillips, Brienen 2017, specific for Guiana shield, on above-ground biomass only. The consulted experts (from ONF, Cirad and CNRS) advised France to use a more specific value. The proposed estimate of carbon flux in above-ground biomass was obtained using data from permanent plots in the Guyafor network. On these plots, trees with DBH ≥10cm are mapped, botanically identified, and measured at a frequency ranging from 1 to 5 years. More specifically, this calculation only concerned plots that had not been subject to silvicultural experimentation and were therefore considered undisturbed. The value for

	equilibrium in Forest Land Remaining Forest Land is not in line with the IPCC Guidelines, whose default methodological approach require an estimate of gains and losses in LB in managed Forest Land Remaining Forest Land. Moreover, the assumption contradicts the literature review provided on the same page. In a nutshell, this literature review concludes that tropical forests are a carbon sink, the value of which is likely at least equal to the emissions from deforestation and forest degradation over the entire tropical zone, which implies that undisturbed Guiana managed forests are a net sink. This is confirmed by the paper quoted in the NID (Philips and Brienen 2017) which provides estimates specific to undisturbed forests of the Guiana plateau (including French Guiana, Suriname and Guyana). Even for the "zone exploitée" alone, the QA exercise, NID page 634-635, providing a Tier 1 estimate for this area ends up with a substantial sink of 7-8 MtCO2 in Guiana. Thus, France has submitted revised estimates for all French Guiana forests. To do so France used the net of sampling plots in forest land of Guiana Guyafor, as the data source to calculate the annual average net biomass C stock change, although limited to those plots in undisturbed forest land, as well as a revised root:to:shoot ratio. Accordingly, France calculated a net sink on "managed undisturbed Forest Land Remaining Forest Land in Guiana" and on the area of the "zone exploitée", where no harvest has previously occurred or where the forest has fully recovered from past selective harvest, of 0.35 tC ha-1 yr-1. France also revised the calculation of the harvested areas given the use of a different root:to:shoot ratio. The TERT noted that France submission does not contain information on the occurrence of disturbances across the entire area of in Guiana forest land. Thus, the TERT noted that the estimate may be incomplete given that losses due to disturbances, if any, are not included, which will lead to a systematic over-estimate of the net sink if disturbances occur. The TERT also noted that disturbed plots likely have a higher annual net increment than those with old growth primary forests, so that their exclusion from the calculation of the net sink will determine a systematic under-estimate of the net sink if disturbances occurs. However, given the TERT cannot judge whether the two potential errors have occurred and what will be the total net error in the calculation of the biomass C stock net change, and applying the bona fide presumption accepts the revised estimates. The TERT recommends France to provide a complete time series of estimates of managed forest land, by reporting each and every annual gain and		biomass gains proposed is 0.28 tC/ha/yr (please refer to "Note sur le stockage de carbone dans les forêts guyanaises", in the absence of published data). This value was mutually agreed by consulted experts in the absence of an established NFI for the moment in French Guiana, and was judged more accurate than Phillips and Brienen value. An inventory will most probably be set up in the next years in by IGN-ONFi, but the timetable is still unknown and at least 2 editions of the inventory would be necessary to have a flux, or even more to reduce uncertainty. This value is not perfectly accurate to be extrapolated to the whole of French Guiana, as there is a lot of diversity of landscapes (southern forest are not well described in the current state of the art in particular), but there was a consensus that there is no best estimate at the moment. Repeated lidars, L-VOD, flux towers estimates were considered but not judged mature or accurate enough. Then, the recommended root to shoot ratio is 0.235 (from MOKANY, RAISON, and PROKUSHKIN 2005). This increment was applied to all "undisturbed" forests (forest never exploited from ONF area, forest after 30 years of exploitation, or forest outside the ONF area). The method used for the revised estimate was implemented in the new inventory.

	annual loss over the entire area of managed forest land in Guiana, without any exclusions, in its next inventory submission. The TERT further recommends France avoid averaging the annual gain across a period longer than the periodical resampling of forest plots.		
FR-4A-2025-0002 4A Forest land, CO2, 1990-2023	For 4.A Forest land conversions, the TERT noted that the NID (p595) reports extremely low reference soil carbon stocks in oversea territories (with the exception of Guiana). Réunion is as low as 1.6 tC/ha, which could correspond to quasi pure sand everywhere, a surprising fact given that forests and crops exist in Réunion and would unlikely be growing on pure sand. Carbon stocks in AGB for deciduous forests in overseas territories other than Guiana are also surprising: 48-49 tC/ha for Antilles and 7 tC/ha for Réunion (NID p 587). This is substantially lower than the 131-187 tDM/ha default value for tropical moist forests (the corresponding climate according to Figure 3A.5.1 of the 2006 IPCC Guidelines) proposed in the IPCC 2019 Refinements (page 4.22). Similar questions arise for deadwood and litter (~ 1 tC/ha or lower, except for Guiana, NID p248). During the review, France explained that the biomass stocks in Réunion were not the average, but rather a representative value for "Forêt mégatherme semi-xérophile", which is the type of forest subject to deforestation, and not of tropical moist forests which are also present in Réunion but are not subject to deforestation. The TERT nevertheless thinks that a land with as little as 7 tC/ha in AGB is unlikely to reach the criteria set by France for forest definition, and that 1.6 tC/ha in SOC is even more unrealistic. The TERT therefore recommends that France revise the reference stocks in biomass and soils in its overseas territories or provide evidence that these low values are realistic (e.g. very few, thin trees per hectare nevertheless reaching 10% crown cover and 5m height). Nevertheless, the TERT agrees with France that these territories being very small, the associated errors in estimated emissions and removals are likely not significant.	LULUCF ESR review report 2025	The actualisation of these reference carbon stock is part of the improvement plan. It could be from the 4p1000 Outre Mer, but has not yet been implemented for this submission.
FR-4A-2025-0001 4A Forest land, CO2, 2012-2023	For 4A Forest Land representation for years 2012-2023, the TERT noted that the NID, page 578, explains that only net forest change, without distinguishing gross afforestation and gross deforestation, is monitored in Guiana, and that this monitoring is based on a publication from 2021. During the review, France confirmed that after 2019, the net forest change was assumed to be constant in Guiana. The TERT notes that regularly updated remote sensing products such as the Global Forest Watch (https://www.globalforestwatch.org/) database would in principle allow to monitor	LULUCF ESR review report 2025	The actualisation of the land use changes method in oversea territories is part of the improvement plan. French Guiana will be the first priority. The work will be merged with the spatial analysis of above ground biomass, linked to the revised estimate of 2025.

	forest changes in Guiana, distinguishing gross afforestation and gross deforestation. The TERT notes that the current approach used by France to identify land-use changes in Guiana corresponds to approach 1 or 2, but is neither approach 3 nor geographically explicit, as required by the Governance Regulation. The TERT therefore recommends that France implement a geographically explicit identification system of land-use conversion in Guiana, as required by the Governance Regulation.		
FR-4A2-2025-0004 4A2 Land converted to forest land, CO2, 1990-2023	For 4.A.2. Land Converted to Forest Land in all years, the TERT noted that the NID (p614) explains that in Guiana, "Pour les terres ayant été boisées depuis moins de 20 ans, la valeur de 1 tC/ha/an est utilisée, en cohérence avec la valeur utilisée pour estimer l'accroissement sur les terres ayant subi une exploitation. » This seems to contradict the general section on land-use changes where forest biomass stocks in Guiana are estimated at 166 tC/ha (p587), a value which is assumed to be reached after 40 years. During the review, France explained that the fluxes concerned were small, as afforested area in Guiana is around 1,000 ha/yr. The TERT notes that Poorter et al. (2016) reports an average growth of 3 tC/ha/year on fallow land over the first 20 years in the tropical context, reaching approximately 50% (and after 30 years, approximately 65%) of the stock of primary forests in a similar and comparable context. The TERT recommends that France report revised estimates that are compatible between CSC in afforested land and CSC as in forest land remaining forest land that recovers from selective harvest.	LULUCF ESR review report 2025	We already follow the recommandation to use a compatible CSC in afforested land and CSC and in forest land remaining forest land that recovers from selective harvest (around 1 tC/ha/an). However, the value of 166 tC/ha is not reached in 40 years as pointed out by this comment. After 40 years, an increment is now applied (and is the same as in forests remaining forests).

6.4.7 Améliorations envisagées

Une comparaison est d'ores et déjà menée pour confronter l'approche bilan des flux avec l'approche par variation de stocks. Néanmoins, la réconciliation des deux approches sera discutée, ainsi que la possibilité de proposer des extrapolations plus robustes pour les années récentes (non consolidées par une campagne). Les taux de boisement et de déboisement sont des sujets centraux toujours au cœur des améliorations, ils impactent le bouclage des prélèvements.

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 France hexagonale 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. ».
- En 2025, une nouvelle étude de faisabilité pour la mise en place d'un inventaire forestier IGN en Guyane est menée par l'IGN et l'ONFi. L'étude vise à élaborer un prototype d'inventaire forestier sur la Guyane en une année, avec une méthodologie spécifique et des scenarii pour le mettre en œuvre. La Martinique, la Guadeloupe, La Réunion et Mayotte sont également concernées, avec des adaptations prévues liés aux spécificités insulaires et locales.
- 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 hexagonale.
- D'autres données sur les stocks de biomasse comme la carte de Fayad et al. 2016 [37]sur la Guyane, la carte de Potapov et al. 2021 [38]mobilisant les données GEDI et LANDSAT ou encore les travaux d'Avitabile et al. 2016[39] sont aussi des sources de données pressenties pour améliorer la précision des estimations.
- Pour donner suite au point précédent, de nombreuses études et produits sont suivies et envisagés par la France pour améliorer les estimations biomasse de la Guyane (produits ESA CCI Biomass, travaux RECCAP2 Amazonie…).

Suite à la récente réalisation de ces études, la France analyse actuellement les différentes solutions proposées.

[37] 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.

[38] 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.

[39] Avitabile, V., & al. (2016) An integrated pan-tropical biomass map using multiple reference datasets. Global Change Biology, 22, 1406–1420

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 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.

Sols minéraux - Valeurs de stocks en Outre-Mer

Les valeurs de stocks en Outre-mer sont issues d'un rapport ONF fournissant des données dérivées des valeurs de biomasse. Il est envisagé de mobiliser les données des expertises 4p1000 Outre-Mer et travaux du Cirad associés afin de challenger ces valeurs de stocks.

6.5 Cultures (CRT 4B)

6.5.1 Caractéristiques de la catégorie

Les surfaces en cultures couvrent 20,8 millions d'hectares en France en 2024. 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 197 : Surfaces et Emissions / Absorptions en cultures.

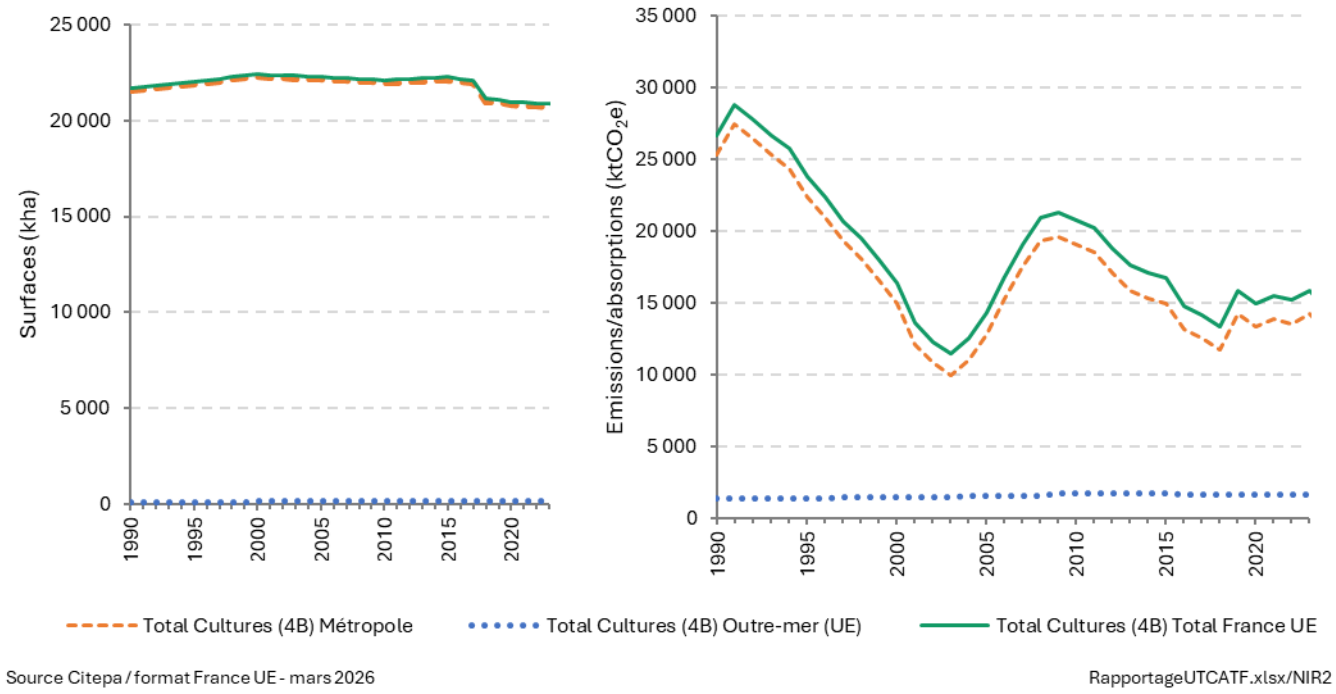


Tableau 262 : Surfaces en cultures (en milliers d'ha).

	Surfaces (kha)								
	Total Cultures (CRT 4B)			Cultures restant Cultures (CRT 4B1)			Terres devenant Cultures (CRT 4B2)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	21 548	122	21 670	17 574	94	17 668	3 974	28	4 002
1991	21 613	124	21 737	17 644	94	17 738	3 969	30	3 998
1992	21 684	125	21 809	17 720	94	17 814	3 963	31	3 995

1993	21 753	127	21 880	17 797	94	17 891	3 956	33	3 989
1994	21 828	128	21 957	17 881	94	17 975	3 947	35	3 982
1995	21 901	130	22 031	17 963	94	18 057	3 938	36	3 974
1996	21 975	131	22 106	18 040	93	18 134	3 934	38	3 972
1997	22 048	133	22 181	18 118	93	18 211	3 930	40	3 970
1998	22 122	135	22 256	18 197	93	18 290	3 925	41	3 966
1999	22 198	136	22 334	18 278	93	18 371	3 920	43	3 963
2000	22 277	138	22 414	18 366	93	18 459	3 911	44	3 955
2001	22 245	139	22 384	18 425	93	18 518	3 820	46	3 866
2002	22 212	141	22 353	18 478	93	18 571	3 734	48	3 781
2003	22 186	142	22 328	18 531	93	18 624	3 655	49	3 704
2004	22 158	144	22 302	18 584	93	18 677	3 574	51	3 625
2005	22 128	146	22 274	18 646	93	18 739	3 482	52	3 535
2006	22 096	147	22 243	18 708	93	18 801	3 389	54	3 443
2007	22 064	149	22 213	18 764	93	18 857	3 300	56	3 355
2008	22 029	150	22 179	18 814	93	18 908	3 214	57	3 271
2009	21 988	151	22 140	18 883	94	18 977	3 105	57	3 163
2010	21 955	152	22 107	18 941	95	19 036	3 014	58	3 071
2011	21 975	153	22 128	18 993	96	19 089	2 982	58	3 039
2012	22 004	154	22 159	19 053	96	19 149	2 951	58	3 009
2013	22 037	155	22 193	19 119	97	19 216	2 918	58	2 976
2014	22 069	157	22 225	19 193	98	19 291	2 875	59	2 934
2015	22 097	158	22 254	19 263	99	19 362	2 833	59	2 892
2016	22 002	158	22 161	19 308	100	19 408	2 694	59	2 753
2017	21 955	159	22 114	19 405	101	19 505	2 550	59	2 609

2018	20 974	160	21 134	18 589	101	18 690	2 385	59	2 444
2019	20 955	161	21 117	18 680	102	18 782	2 276	59	2 335
2020	20 788	162	20 950	18 651	103	18 754	2 137	59	2 196
2021	20 760	163	20 923	18 657	104	18 761	2 103	59	2 162
2022	20 749	164	20 913	18 662	105	18 767	2 087	59	2 146
2023	20 708	165	20 872	18 643	106	18 748	2 065	59	2 124
2024	20 625	166	20 790	18 613	106	18 719	2 012	59	2 071

Tableau 263 : Emissions / Absorptions en cultures (en $ktCO_2e$)

	Emissions / Absorptions ($ktCO_2e$)								
	Total Cultures (CRT 4B)			Cultures restant Cultures (CRT 4B1)			Terres devenant Cultures (CRT 4B2)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	25 321	1 320	26 641	1 616	5	1 620	23 706	1 315	25 021
1991	27 418	1 332	28 750	2 286	5	2 291	25 132	1 327	26 459
1992	26 452	1 344	27 796	2 283	5	2 288	24 168	1 339	25 507
1993	25 300	1 356	26 656	2 157	5	2 162	23 144	1 351	24 495
1994	24 348	1 368	25 716	2 215	5	2 220	22 134	1 363	23 497
1995	22 367	1 380	23 747	1 368	5	1 373	20 999	1 375	22 374
1996	20 936	1 392	22 327	1 017	5	1 022	19 918	1 387	21 305
1997	19 291	1 404	20 695	493	5	498	18 797	1 399	20 197
1998	18 067	1 416	19 483	328	5	333	17 739	1 411	19 150
1999	16 576	1 428	18 004	-474	5	-469	17 050	1 423	18 473
2000	14 942	1 440	16 382	-1 419	5	-1 415	16 361	1 436	17 797
2001	12 099	1 452	13 551	-2 980	5	-2 975	15 079	1 448	16 526
2002	10 794	1 465	12 258	-4 017	5	-4 012	14 811	1 460	16 270
2003	9 960	1 476	11 437	-4 903	5	-4 898	14 863	1 472	16 335
2004	11 044	1 488	12 533	-3 937	5	-3 932	14 982	1 483	16 465
2005	12 806	1 500	14 306	-2 269	5	-2 265	15 075	1 495	16 571
2006	15 312	1 512	16 823	193	5	198	15 118	1 507	16 625
2007	17 544	1 524	19 068	2 177	5	2 182	15 367	1 519	16 886
2008	19 352	1 536	20 888	4 123	5	4 127	15 230	1 531	16 761
2009	19 542	1 724	21 266	4 543	5	4 547	15 000	1 719	16 719
2010	19 055	1 726	20 781	4 249	5	4 254	14 806	1 721	16 527
2011	18 501	1 727	20 229	3 908	5	3 913	14 593	1 723	16 316
2012	17 073	1 729	18 802	3 236	5	3 241	13 837	1 724	15 561

2013	15 845	1 731	17 576	2 618	5	2 623	13 227	1 726	14 953
2014	15 318	1 733	17 051	2 474	5	2 479	12 844	1 728	14 572
2015	14 976	1 735	16 711	2 440	5	2 445	12 536	1 730	14 266
2016	13 118	1 623	14 741	2 037	5	2 042	11 081	1 618	12 699
2017	12 509	1 623	14 132	2 284	5	2 288	10 225	1 619	11 844
2018	11 691	1 624	13 315	1 711	5	1 715	9 981	1 619	11 600
2019	14 184	1 624	15 809	2 703	5	2 707	11 482	1 620	13 101
2020	13 308	1 625	14 933	2 589	5	2 593	10 719	1 620	12 339
2021	13 865	1 625	15 491	3 248	5	3 253	10 617	1 621	12 238
2022	13 540	1 626	15 166	3 041	5	3 046	10 499	1 621	12 120
2023	14 204	1 627	15 830	3 157	5	3 162	11 047	1 622	12 669
2024	12 941	1 627	14 569	2 822	5	2 827	10 119	1 623	11 742

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 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 France hexagonale 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 France hexagonale 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.

6.5.2.1 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.

6.5.2.2 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

Ces flux sont estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille (*voir* l'Annexe UTCATF_suividesterres).

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

Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

Litière (terres cultivées restant terres cultivées) [lt]

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

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

Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

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

Pas de flux complémentaire de CO2 pour ce compartiment.

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 France hexagonale (Base de données des inventaires des tourbières en France hexagonale [1202]) ou pour la Guyane [720]. Ces cartes sont croisées avec le modèle de suivi des terres spatialement explicite Citepa pour la France hexagonale 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).

6.5.2.3 Terres devenant terres Cultivées (4B2)

Biomasse vivante (terres devenant terres cultivées) [lb_f ; lb_cp ; lb_ca ; lb_hh]

Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

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. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

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. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

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. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Il peut s'agir, selon les cas, d'une émission ou d'une absorption de carbone. 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 N2O (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

Inventaire	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	26 641	23 747	16 382	14 306	20 781	20 229	18 802	17 576	17 051	16 711	14 741	14 132	13 315	15 809	14 933	15 491	15 166	15 830	14 569
Différence	kt CO2e	-2 676	-2 249	-1 111	+328	-796	-1 048	-909	-895	-662	-521	-484	-398	-9.4	+1 316	+2 258	+2 807	+2 831	+3 393	+14 569
	%	-9%	-9%	-6%	+2%	-4%	-5%	-5%	-5%	-4%	-3%	-3%	-3%	-0%	+9%	+18%	+22%	+23%	+27%	-

Source Citepa / mars_2026 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 en incluant une correction de nomenclature qui affecte la répartition de surfaces entre les catégories Cultures et Prairies, un recalcul est généré sur les années récentes.
- 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 de l'UE de 2025, 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
FR-4B1-2025-0004 4B1 Cropland remaining cropland, CO2, 1990-2023	For 4B1 Cropland Remaining Cropland, to estimate SOC change in mineral soils in Cropland, the TERT notes that the NID (p646) attributes F_I values different from 1 based on three parameters: residue management, manure inputs and the presence of cover crops. This is done through an ad-hoc correspondence table between these practices and the IPCC default classes in the 2019 IPCC Refinements, which is not demonstrated. The share of temporary grassland also impacts soil carbon in the Cropland Remaining Cropland category through a calculation method similar to the IPCC method for land-use changes, attributing an F_LU value of 1 for temporary grassland (NID p646). While the TERT did not find information to support the use of IPCC default values for the CSCFs, the TERT notes that out of the five practices (tillage, temporary grassland, residue management, manure inputs and the presence of cover crops) for which the French NGHG calculates an impact on mineral soil carbon stocks, three are ruled out by a recent French collective scientific report (Pellerin et al., 2019) commissioned by the French government and the French Environment Agency, that identifies country-specific emission factors for soil management practices. This report concludes that 1) under French climatic conditions, tillage does not impact soil carbon storage; 2) neither does residue management on the basis that in France, carbon in crop residues always goes back to the field one way or another "En France les possibilités d'accroissement des stocks de C par les résidus de culture sont faibles car la majorité des résidus sont déjà restitués au sol, directement ou indirectement (fumiers). » (p159) and that therefore «La contribution des résidus de culture aériens au stockage du carbone dépend surtout de la quantité de biomasse produite et donc des rendements » (p159); and 3) manure inputs measured at field scale do not impact soil carbon for the same reason (they always go to one field or another), unless there is a change in the national total manure production (furthermore, a change in the manure production is better derived from livestock statistics rather than by the crop practices survey). More generally, based on total organic fertilisers reported in the Agriculture sector (table 3D), the national total of organic inputs to soils does not show a significant trend (7% difference between the minimum and maximum values in the 34-year time series). As a result of factoring in practices which, in the French context, do not impact soil carbon, in the NID is stated (p646) that "Le travail du sol est un des paramètres les plus importants pour l'estimation des flux de carbone des sols en France. ». France clarified during the review that (1) this sentence would need to be reassessed as it now applies the CSCFs from the 2019 IPCC Refinements for tillage, which are lower than those from the 2006 IPCC Guidelines; (2) the	LULUCF ESR review report 2025	Updating the methodologies for cropland and grassland in mineral soils is the main priority of the inventory that will be published in 2027. This topic was already a point of the improvement plan, and was confirmed by the LULUCF review. A special capacity building session was conducted in October 2025. As the work is still ongoing to implement these elements, no evolution will appear in the 2026 submission.

	statement of low impact of tillage is based on 1m depth and not 0-30 cm depth which is the perimeter of the current inventory and that the 2019 IPCC refinement already considers a rather low impact of tillage; (3) estimate of manure spreading in sector 3D does not give information regarding the land use where it is spread; (4) the practices surveys are quite close to IPCC classes for cropland so it was not obvious that an additional validation or demonstration is required; (5) the practices surveys appear as a good source of information even for manure because they cover consistently several aspects (manure by crop type, mineral fertilisation by crop type, residues by crop type, tillage/no tillage by crop type, cover crops by crop type); (6) RMQS is expected in short time to bring real values from measurements for this very uncertain topic. The TERT disagrees with (4) as the IPCC categories unfortunately give no quantitative indications on the meaning of with or without (e.g. with or without fertilizers). A literal interpretation could be that with means "more than zero", but that would be problematic as applying 30 kgN/ha is much closer to zero than standard rates of 100-150 kgN/ha. In fact, France neglects the mineral fertilizer criterion in Cropland, and decides, without providing evidence that supports this, on thresholds in Grassland (for example, that less than 50 kgN/ha does not count as "fertilization"). The TERT also thinks that (5) is unlikely unless France demonstrates that manure and fertilizer inputs, as obtained from the crop practice survey, are consistent with the national totals when cumulating Cropland and Grassland. Finally, regarding (2), the TERT agrees that France could legally use this argument to choose whether it keeps accounting for tillage. The TERT notes however that choosing to account for a practice despite knowing that it has no impact on climate would set an undesirable precedent. It remains that 2 practices out of 5 taken into account in the NGHGI have no impact on soil carbon and a third, organic inputs, is relying on local data which are – to the extent that the TERT can assess – inconsistent with the national totals reported in CRT table 3D. This makes the NGHGI estimates inaccurate on this aspect and unable to reflect the climate impact of policies. Given that Cropland Remaining Cropland is a key category (p53), France is required to apply Tier 2 country-specific data; in particular, IPCC Tier 1 values for emission factors and parameters are not to be used when country-specific values are available (2006 IPCC Guidelines vol1 p2.12). The TERT decided to calculate a technical correction, which was accepted by France, although France shared its disagreements with the concerns about this part of the inventory in the framework of this review. The TERT recommends that France include a complete and consistent time series of revised annual estimate of SOC stock changes in mineral soils in Cropland Remaining Cropland in its next submission, as required by the Governance Regulation. For this purpose, the TERT recommends that (1) France not account for tillage practices and residue management; (2) France use activity data for manure which is consistent with the national totals reported in CRT Table 3D, for example by using the crop practices survey as a distribution key for these national totals; (3) France use its country-specific emission factors for cover crops, temporary grassland and organic		

	inputs to grassland (Pellerin et al., 2019) or to demonstrate that other emission factors are more accurate. Obviously, a Tier 3 method would also be acceptable, provided that its validity is demonstrated in the French context and results are verified.		

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] [40] , Etude 4 pour 1000 [963]).

En complément, un travail sur le suivi des pratiques de gestion ayant un impact le carbone des sols en prairies et en cultures est en cours, des résultats sont attendus dans les prochaines éditions d'inventaire.

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 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 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 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, majoritairement issus du Raffinement 2019 désormais (hormis pour le Flu des prairies temporaires), 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

[40] 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.

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.

La revue LULUCF de 2025 a remis en cause le mode de suivi pour le carbone des sols en cultures et prairies. Des échanges techniques ont eu lieu à l'automne 2025 avec le reviewer. Des échanges sont également en cours avec l'INRAe et les experts du programme de recherche FairCARBON afin de proposer une méthode alternative à l'approche actuelle. Diverses pistes sont envisagées mais la piste privilégie pour la prochaine soumission sera l'utilisation de facteurs d'émissions issus de la littérature (pratique par pratique), et non plus l'utilisation d'un arbre de décision multicritères comme dans l'approche Giec Tier 1. Le travail du sol serait écarté (son impact étant réfuté pour la France hexagonale, même si quelques discussions persistent sur la zone méditerranéenne). Le niveau de fertilisation serait maintenu, et remis en lien avec les données d'activité du secteur CRT 3 agriculture. Enfin, les taux de couverts intermédiaires seraient toujours suivis mais avec un facteur d'émission spécifique. Un groupe de travail technique validera ces modifications en 2026 pour la prise en compte pour le prochain inventaire. Il est toujours espéré de pouvoir appuyer les choix de la nouvelle méthode sur les analyses RMQS, mais la mobilisation des données LUCAS soils est envisagée si les analyses RMQS ne sont pas disponibles courant 2026.

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 10,5 millions d'hectares en France en 2024. 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 198 : Surfaces et Emissions / Absorptions en prairies

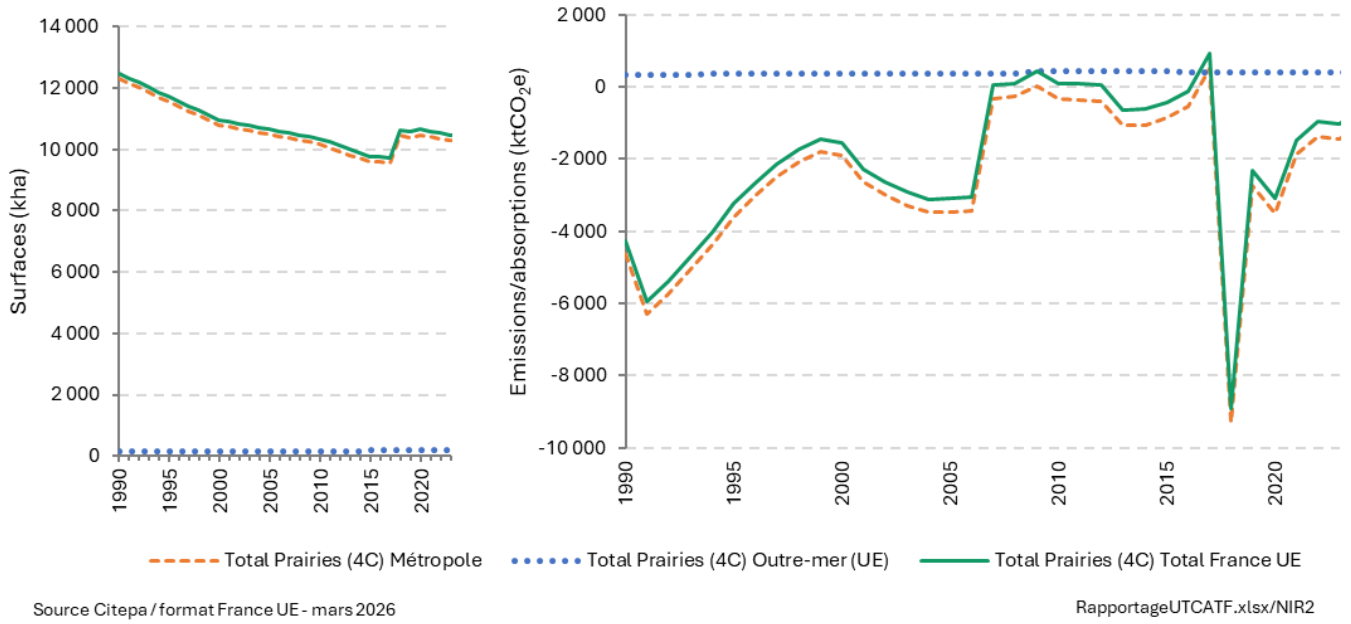


Tableau 264 : Surfaces en prairies (en milliers d'ha)

	Surfaces (kha)								
	Total Prairies (4C)			Prairies restant Prairies (4C1)			Terres devenant Prairies (4C2)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	12 299	165	12 464	9 908	127	10 035	2 391	38	2 429
1991	12 153	165	12 318	9 825	127	9 951	2 329	39	2 367
1992	12 005	165	12 170	9 738	127	9 865	2 266	39	2 305
1993	11 859	166	12 024	9 656	127	9 783	2 202	39	2 241
1994	11 706	166	11 872	9 567	127	9 693	2 139	39	2 178
1995	11 556	166	11 723	9 483	127	9 609	2 074	40	2 113
1996	11 406	166	11 572	9 394	127	9 521	2 012	40	2 052
1997	11 255	167	11 422	9 306	127	9 432	1 950	40	1 990
1998	11 104	167	11 271	9 215	126	9 342	1 888	40	1 929
1999	10 949	167	11 116	9 122	126	9 249	1 827	41	1 868
2000	10 793	167	10 960	9 012	126	9 138	1 781	41	1 822

2001	10 734	168	10 901	8 982	126	9 109	1 751	41	1 793
2002	10 679	168	10 847	8 952	126	9 078	1 728	41	1 769
2003	10 619	168	10 787	8 912	126	9 039	1 706	42	1 748
2004	10 560	168	10 728	8 870	126	8 997	1 690	42	1 732
2005	10 493	169	10 662	8 823	126	8 950	1 670	42	1 712
2006	10 429	169	10 598	8 776	126	8 902	1 654	42	1 696
2007	10 367	169	10 536	8 717	126	8 843	1 650	43	1 693
2008	10 309	169	10 478	8 659	126	8 786	1 649	43	1 692
2009	10 251	170	10 421	8 597	127	8 723	1 654	43	1 698
2010	10 190	171	10 360	8 524	127	8 650	1 666	44	1 710
2011	10 072	171	10 243	8 393	127	8 520	1 679	45	1 723
2012	9 945	172	10 117	8 258	127	8 385	1 687	45	1 733
2013	9 823	173	9 996	8 130	127	8 257	1 694	46	1 739
2014	9 704	174	9 878	8 004	127	8 132	1 700	46	1 746
2015	9 590	174	9 764	7 882	128	8 009	1 708	47	1 755
2016	9 598	175	9 773	7 856	128	7 983	1 742	47	1 790
2017	9 563	176	9 738	7 834	128	7 962	1 728	48	1 776
2018	10 461	176	10 637	7 834	128	7 962	2 627	48	2 675
2019	10 395	177	10 572	7 786	128	7 914	2 609	49	2 658
2020	10 477	178	10 655	7 764	128	7 892	2 713	49	2 763
2021	10 420	178	10 599	7 738	129	7 866	2 683	50	2 733
2022	10 347	179	10 526	7 698	129	7 827	2 649	50	2 699
2023	10 303	180	10 483	7 658	129	7 787	2 645	51	2 696
2024	10 300	180	10 481	7 653	129	7 782	2 647	51	2 699

Tableau 265 : Emissions / Absorptions en prairies (en kt CO_2e)

	Emissions / Absorptions (ktCO_2e)								
	Total Prairies (4C)			Prairies restant Prairies (4C1)			Terres devenant Prairies (4C2)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	-4 618	341	-4 277	-694	9	-685	-3 924	332	-3 591
1991	-6 289	343	-5 946	-775	9	-766	-5 514	334	-5 180
1992	-5 730	344	-5 385	-947	9	-939	-4 782	335	-4 447
1993	-5 038	346	-4 692	-1 121	9	-1 112	-3 917	337	-3 580
1994	-4 370	347	-4 023	-1 185	9	-1 177	-3 185	339	-2 846
1995	-3 595	349	-3 246	-1 242	9	-1 233	-2 353	340	-2 013
1996	-3 019	351	-2 668	-1 244	9	-1 236	-1 774	342	-1 433
1997	-2 489	352	-2 136	-1 033	9	-1 024	-1 456	343	-1 113
1998	-2 076	354	-1 723	-802	9	-794	-1 274	345	-929
1999	-1 802	356	-1 446	-596	9	-587	-1 206	347	-859
2000	-1 911	357	-1 554	-432	9	-424	-1 478	348	-1 130
2001	-2 643	359	-2 284	-385	9	-377	-2 257	350	-1 907
2002	-2 993	360	-2 633	-474	9	-465	-2 520	352	-2 168
2003	-3 293	362	-2 931	-574	9	-566	-2 718	353	-2 365
2004	-3 470	363	-3 107	-569	9	-560	-2 901	355	-2 547
2005	-3 460	365	-3 095	-451	9	-442	-3 008	356	-2 652
2006	-3 430	366	-3 063	-340	9	-331	-3 090	358	-2 732
2007	-334	368	34	-221	9	-212	-113	359	246
2008	-268	370	101	-156	9	-147	-113	361	248
2009	-1	427	426	25	9	33	-26	418	392
2010	-331	427	96	-325	9	-316	-6	418	412
2011	-351	428	76	-660	9	-651	308	419	727
2012	-392	428	36	-913	9	-904	521	419	940
2013	-1 070	429	-641	-1 194	9	-1 185	124	420	544
2014	-1 050	429	-621	-1 408	9	-1 399	358	420	778
2015	-860	430	-430	-1 367	9	-1 358	507	421	928
2016	-543	412	-131	-1 249	9	-1 240	706	403	1 109
2017	509	412	922	-948	9	-940	1 458	403	1 861
2018	-9 309	413	-8 897	-3 668	9	-3 659	-5 641	404	-5 238
2019	-2 727	413	-2 314	-664	9	-656	-2 062	404	-1 658
2020	-3 513	413	-3 100	-962	9	-953	-2 551	404	-2 147

2021	-1 882	414	-1 468	-389	9	-380	-1 493	405	-1 088
2022	-1 383	414	-969	-292	9	-283	-1 091	405	-686
2023	-1 451	414	-1 037	-468	9	-459	-984	405	-578
2024	-1 061	415	-646	-389	9	-380	-672	406	-266

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) : 3,6 tCO2/ha/an en France hexagonale et 9,6t 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) : 30 $KgCH_4$/ha/an en France hexagonale 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.

6.6.2.1 Approche et données

Approche générale

Les flux de carbone sur l'ensemble des 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) ;
    - 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.

6.6.2.2 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)

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Les variations de stocks de ce compartiment sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Flux estimés en complément

Dans les prairies restant prairies, 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 prairies 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 prairies restant prairies. Ces flux sont affectés aux catégories de prairies arbustives, et des gains du même ordre sont appliqués pour la repousse. De la même façon, si des pertes sont considérées en lien avec les feux de forêt en prairies arbustives, une repousse est prise en compte, pendant 20 ans, pour reconstituer les stocks détruits.

Du brûlage de résidus est associé à la récolte de bois énergie en prairies arbustives. Comme pour le brûlage des rémanents en forêt, celui-ci génère différents gaz à effet de serre directs et indirects, ainsi que des polluants (N2O, NOx, CO et CH4) en plus du CO2. Ces émissions sont estimées à partir des facteurs d'émission du GIEC 2006 (voir équation 24 - Forêts).

Des flux de carbone dans la biomasse liés à l'évolution du linéaire de haies en prairies sont pris en compte. La méthodologie est décrite dans la section UTCATF – général.

Bois mort (prairies restant prairies)

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Les variations de stocks de ce compartiment sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

Litière (prairies restant prairies)

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Les variations de stocks de ce compartiment sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Flux estimés en complément

Pas de flux complémentaire pour ce compartiment.

Matière organique du sol (prairies restant prairies) – sols minéraux

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Les variations de stocks de ce compartiment sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

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

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 France hexagonale (Atlas des tourbières de l'université de Franche Comté - WWF [1202]) ou pour la Guyane [720]. Ces cartes sont croisées avec le modèle de suivi des terres spatialement explicite Citepa pour la France hexagonale 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).

6.6.2.3Terres devenant prairies (4C2)

Biomasse vivante (terres devenant prairies)

Les variations de stocks de ce compartiment sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

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 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 prairies)

Les variations de stocks de ce compartiment sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Litière (terres devenant prairies)

Les variations de stocks de ce compartiment sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Matière organique du sol (terres devenant prairies) -

Les variations de stocks de ce compartiment sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

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. 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.C1 et 4.C2).

Depuis 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 sur 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

Inventaire	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	-4 277	-3 246	-1 554	-3 095	96	76	36	-641	-621	-430	-131	922	-8 897	-2 314	-3 100	-1 468	-969	-1 037	-646
Différence	kt CO2e	+1 428	+3 730	+1 600	-459	+1 419	+1 978	+2 366	+2 926	+2 973	+2 968	+4 422	+3 922	-837	+3 321	+2 143	+3 292	+3 467	+3 200	-646
	%	-25%	-53%	-51%	+17%	-107%	-104%	-102%	-82%	-83%	-87%	-97%	-131%	+10%	-59%	-40.87%	-69%	-78%	-76%	-

Source Citepa / mars_2026 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 rotation entre usages agricoles a été mis à jour également en incluant une correction de nomenclature qui affecte la répartition de surfaces entre les catégories Cultures et Prairies, un recalcul est généré sur les années récentes.

- 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 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue de l'UE de 2025, 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
FR-4C1-2025-0001 4C1 Grassland remaining grassland, CO2, 1990-2023	For 4C1 Grassland Remaining Grassland, to estimate SOC change in mineral soils in Grassland, the TERT notes that the NID (p658) attributes F_I and F_MG values different from 1 based on two parameters: fertiliser and manure inputs. This is done through an ad-hoc correspondence table between these practices and the IPCC default classes in the 2019 IPCC Refinement, for which no information on its validation is reported. While the TERT did not find information to support the use of IPCC default values for the CSCFs, the TERT notes that out of the two practices for which the French NGHG calculates an impact on mineral soil carbon stocks, one is ruled out by a recent French collective scientific report (Pellerin et al., 2019) commissioned by the French government and the French Environment Agency, which identifies country-specific emission factors for soil management practices. This report concludes that manure inputs do not impact soil carbon for the same reason (they always go to the field one way or another), unless there is a change in the national total manure production (furthermore, a change in the manure production is better derived from livestock statistics rather than by the crop practices survey). More generally, based on total organic fertilisers reported in the Agriculture sector (table 3D), the national total of organic inputs to soils shows a decreasing trend of -3% (although not significant) while synthetic N inputs show a significant decreasing trend of -25%. As a result of factoring in practices which, in the French context, do not impact soil carbon, the CSC in mineral soils in GLrGL are positive over most of the time series (on average 218 kt C over 2016-2023). Furthermore, this seems contradictory with the expected effect of a decreasing use of total fertiliser use (organic and mineral), as reported in table 3D over the time series. Given that GLrGL is a key category (p53), France is required to apply Tier 2 country-specific data; in particular,	LULUCF ESR review report 2025	Updating the methodologies for cropland and grassland in mineral soils is the main priority of the inventory that will be published in 2027. This topic was already a point of the improvement plan, and was confirmed by the LULUCF review. A special capacity building session was conducted in October 2025. As the work is still ongoing to implement these elements, no evolution will appear in the 2026 submission.

	IPCC Tier 1 values for emission factors and parameters are not to be used when country-specific values are available. During the review, France pointed out that (1) France is currently leading a study on grassland to improve the current choices for this correspondence between IPCC classes and national statistics; and (2) RMQS is soon expected to bring real values from measurements for this very uncertain topic. The TERT decided to calculate a technical correction, which was accepted by France, although France shared its disagreements with the concerns about this part of the inventory in the framework of this review. The TERT recommends that France include a complete and consistent time series of revised annual estimate of SOC stock changes in mineral soils in Grassland Remaining Grassland in its next submission, as required by the Governance Regulation. For this purpose, the TERT recommends that (1) France use activity data for manure which is consistent with the national totals reported in CRT Table 3D, for example by using the crop practices survey as a distribution key for these national totals; (2) France use its country-specific emission factors for mineral and organic inputs to grassland (Pellerin et al., 2019) or use other emission factors by providing an evidence-based demonstration that those are more accurate. The use instead of a Tier 3 method does also conform to IPCC good practice and UNFCCC reporting requirements so far its validity is demonstrated in the French context and results are verified.		
FR-4C1-2025-0002 4C1 Grassland remaining grassland, CO2, 2018	For 4.C.1. Grassland Remaining Grassland, the TERT noted in CRT tables 4.C that 2018 is an outlier with -2.9 MtCO2e in removals, versus less than half that figure in 2017 and 2019. During the review, France explained that at the end of the examination of the 2018 Common Agricultural Policy files in spring 2019, some grassland declared as PTR (temporary grassland) have been reclassified after analysis by the administration as PRL (Grassland in rotation of more than 5 years) or PPH (permanent grassland). This does not have an impact on soils because temporary grassland and permanent grassland in the gridded model have the same reference carbon stock, but it does have an impact on herbaceous biomass. The TERT notes that this administrative change also shifts land from grassland to cropland. Both the reported C stock change estimates and the change in category are an administrative artefact which does not correspond to actual emissions/removals. The TERT therefore recommends that the temporary grassland time series be considered as coming from two different data sources before 2018 and from 2018 onwards, and that France use methods in the IPCC Guidelines on time series consistency (vol1, ch5), possibly using LUCAS or CLC data as surrogate, to ensure time series consistency and, accordingly to recommendation in FR-4C1-2025-0001, recalculate and report a consistent and complete time series of annual estimates of C stock changes in each C pool in Grassland remaining Grassland.	LULUCF ESR review report 2025	The 2018 artefact is a prioritary issue but the correction is not implemented yet. A specific analysis of the land use pattern of the LPIS product is planned, and will most probably be corrected at the grid level to allow the extraction at lower scales for other inventory purposes. If not possible, we keep in mind the possibility to use other data sources to make this correction.

6.6.7 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 délicat. Des améliorations sont prévues pour intégrer de nouvelles sources d'informations pour qualifier les pratiques de gestion, à la fois sur les données d'activités et les facteurs d'émission.

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).

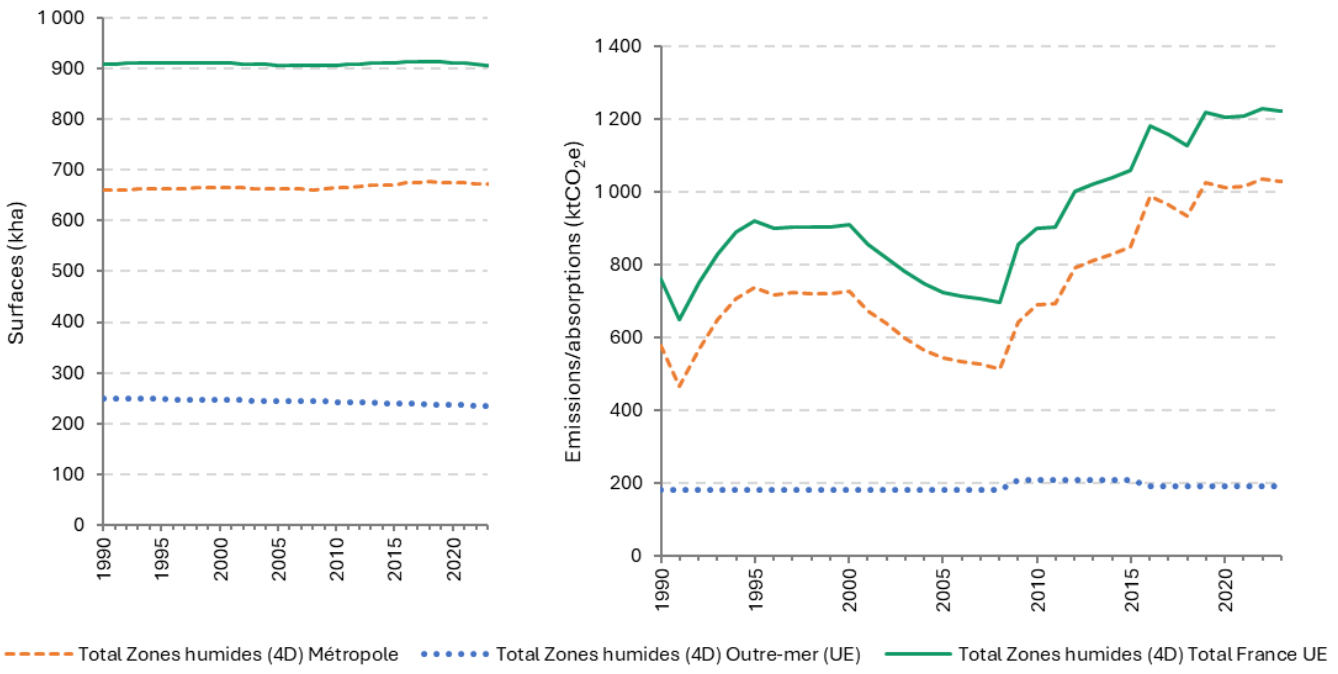
La revue LULUCF de 2025 a remis en cause le mode de suivi pour le carbone des sols en cultures et prairies. Des échanges techniques ont eu lieu à l'automne 2025 avec le reviewer. Des échanges sont également en cours avec l'INRAe et les experts du programme de recherche FairCARBON afin de proposer une méthode alternative à l'approche actuelle. Diverses pistes sont envisagées mais la piste privilégie pour la prochaine soumission sera l'utilisation de facteurs d'émissions issus de la littérature (pratique par pratique), et non plus l'utilisation d'un arbre de décision multicritères comme dans l'approche Giec Tier 1. Un groupe de travail technique validera ces modifications en 2026 pour la prise en compte pour le prochain inventaire. Il est toujours espéré de pouvoir appuyer les choix de la nouvelle méthode sur les analyses RMQS, mais la mobilisation des données LUCAS soils est envisagée si les analyses RMQS ne sont pas disponibles courant 2026.

6.7 Zones humides (CRT 4D)

6.7.1 Caractéristiques de la catégorie

Les terres humides couvrent seulement 0,9 millions d'hectares en 2024 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 199 : Surfaces et Emissions / Absorptions en zones humides



Source Citepa / format France UE - mars 2026

RapportageUTCATF.xlsx/NIR2

Tableau 266 : 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)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	660	250	910	620	248	868	39	2	41
1991	661	249	910	621	247	868	39	2	42
1992	661	249	910	622	247	869	39	2	42
1993	662	249	911	622	246	869	39	3	42
1994	662	248	911	623	246	869	39	3	42
1995	663	248	911	624	245	869	39	3	42
1996	663	248	911	624	245	869	39	3	42
1997	664	247	911	625	244	869	39	3	42
1998	664	247	912	626	243	869	39	4	42
1999	665	247	912	626	243	869	39	4	42
2000	665	246	912	627	242	869	38	4	42
2001	665	246	911	628	242	869	37	4	41
2002	664	246	910	628	241	870	36	5	40
2003	664	245	909	629	241	870	34	5	39
2004	663	245	908	630	240	870	33	5	38
2005	663	245	907	631	239	870	32	5	37
2006	662	244	907	632	239	871	30	5	36
2007	662	244	906	632	238	871	29	6	35
2008	662	244	905	633	238	871	28	6	34
2009	663	243	907	634	237	871	30	6	36
2010	665	243	908	634	237	871	30	6	36
2011	666	242	908	635	236	871	31	6	37
2012	668	241	910	636	235	871	32	6	38
2013	669	241	910	636	235	871	33	6	39
2014	670	240	911	637	234	871	34	6	40
2015	671	240	911	637	234	871	34	6	40
2016	674	239	913	637	233	870	37	6	43
2017	676	239	915	637	233	870	39	6	45
2018	677	238	915	638	232	869	39	6	45
2019	676	237	914	634	231	865	43	6	49
2020	675	237	912	630	231	861	46	6	52

2021	674	236	910	625	230	855	49	6	55
2022	673	236	909	620	230	849	53	6	59
2023	672	235	907	615	229	844	57	6	63
2024	670	235	905	610	228	838	61	6	67

Tableau 267 : Emissions / Absorptions en zones humides (en $ktCO_2e$)

	Emissions / Absorptions ($ktCO_2e$)								
	Total Zones humides (4D)			Zones humides restant Zones humides (4D1)			Terres devenant Zones humides (4D2)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	580	182	762	265	0	265	315	182	497
1991	467	182	649	275	0	275	192	182	374
1992	569	182	751	285	0	285	284	182	466
1993	649	182	831	295	0	295	354	182	536
1994	707	182	889	304	0	304	403	182	585
1995	738	182	920	314	0	314	424	182	606
1996	717	182	899	289	0	289	428	182	610
1997	723	182	905	287	0	287	436	182	618
1998	722	182	904	284	0	284	438	182	620
1999	722	182	905	278	0	278	445	182	627
2000	729	182	911	274	0	274	455	182	637
2001	675	182	857	270	0	270	405	182	587
2002	639	182	821	266	0	266	373	182	555
2003	600	182	782	262	0	262	338	182	520
2004	566	182	749	258	0	258	308	182	490
2005	544	182	726	256	0	256	288	182	470
2006	533	182	715	252	0	252	282	182	464
2007	527	182	709	235	0	235	291	182	474
2008	515	182	697	215	0	215	300	182	483
2009	644	211	855	202	0	202	443	211	653
2010	690	211	900	188	0	188	502	211	712
2011	695	211	905	173	0	173	522	211	733
2012	791	211	1 002	162	0	162	630	211	840
2013	812	211	1 023	152	0	152	660	211	870
2014	828	211	1 038	142	0	142	686	211	896
2015	848	211	1 059	133	0	133	715	211	926
2016	989	193	1 183	124	0	124	865	193	1 059
2017	965	193	1 158	116	0	116	849	193	1 043
2018	933	193	1 127	112	0	112	822	193	1 015
2019	1 026	193	1 220	104	0	104	922	193	1 116
2020	1 013	193	1 207	95	0	95	918	193	1 112
2021	1 017	193	1 210	82	0	82	935	193	1 128
2022	1 036	193	1 229	72	0	72	963	193	1 157
2023	1 030	193	1 223	64	0	64	966	193	1 160
2024	1 035	193	1 228	59	0	59	976	193	1 170

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/m³ [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.

Une analyse des potentiels écarts significatifs des facteurs d'émission rapportés par la France, en pertes de carbone ou de CO2 à l'hectare, par rapport à d'autres pays est présentée dans la section *(Matière organique du sol (zones humides restant zones humides) – sols organiques).*

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 humides.

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.

6.7.2.1 *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.

6.7.2.2 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)

Les variations de stocks de ce compartiment sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Bois mort et litière (zones humides restant zones humides)

Les variations de stocks de ces compartiments sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Matière organique du sol (zones humides restant zones humides) – sols minéraux

Les variations de stocks de ces compartiments sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Matière organique du sol (zones humides restant zones humides) – sols organiques

Une estimation des pertes de carbone dans les sols organiques dues à l'extraction de la tourbe en France hexagonale 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 carbone

associées à ces activités sont estimées uniquement pour le carbone du sol 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.

Les émissions associées à l'extraction de tourbe rapportées à l'hectare par la France peuvent apparaître nettement plus élevées que celles observées dans d'autres pays. Cet écart résulte principalement de différences de périmètre plutôt que d'un comportement intrinsèquement plus émissif des sites français. En effet, en France, l'extraction de tourbe se fait principalement sur des zones inondées et, par conséquent, non drainées. Les émissions rapportées sont donc uniquement estimées à partir des quantités de tourbe extraites (émissions « off-site »). Par ailleurs, les surfaces mobilisées dans les données d'activité correspondent uniquement aux sites toujours en exploitation : lorsque l'exploitation d'un site s'arrête, les surfaces ne sont plus comptabilisées dans les données d'activité.

Dans plusieurs pays, les facteurs d'émission à l'hectare rapportés dans des plages plus faibles reflètent généralement des émissions « on-site » (drainage et oxydation des sols organiques) et peuvent intégrer des surfaces plus larges, incluant potentiellement d'anciens sites d'extraction toujours dégradés ou des sols organiques drainés. De plus, lorsque la tourbe extraite est destinée à des usages de production énergétique, les émissions « off-site » sont comptabilisées dans le secteur Énergie et ne pèsent donc plus sur le secteur UTCATF. Ainsi, la combinaison d'émissions calculées sur les volumes extraits destinés à un usage horticole (non énergétique) et de surfaces d'activité limitées aux sites actifs contribue à expliquer les écarts observés au niveau européen, et appelle à une interprétation prudente des comparaisons directes entre pays.

6.7.2.3 *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 variations de stocks de ces compartiments sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

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 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.

6.7.3 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

Inventaire	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	474	623	683	640	751	730	785	773	766	776	892	860	809	785	701	650	626	620	0
Nouveau	kt CO2e	762	920	911	726	900	905	1 002	1 023	1 038	1 059	1 183	1 158	1 127	1 220	1 207	1 210	1 229	1 223	1 228
Différence	kt CO2e	+288	+297	+227	+86	+150	+175	+217	+249	+272	+282	+290	+298	+318	+435	+506	+560	+604	+604	+1 228
	%	+61%	+48%	+33%	+13%	+20%	+24%	+28%	+32%	+35%	+36%	+33%	+35%	+39%	+55%	+72%	+86%	+96%	+97%	-

Source Citepa / mars_2026 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. Le produit OCSGE a notamment été intégré sur les années récentes.

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 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.

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.

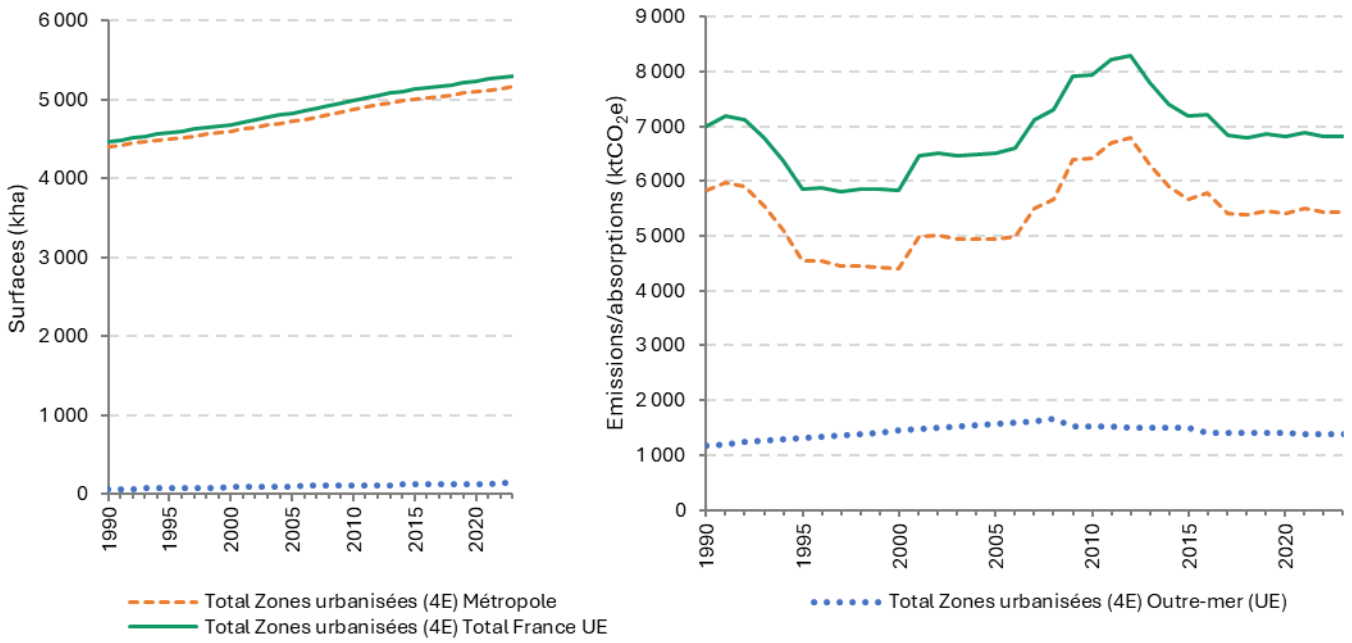
6.8 Zones artificialisées ou Etablissements (CRT 4E)

6.8.1 Caractéristiques de la catégorie

Les zones urbanisées couvrent 5,3 millions d'hectares en 2024 en France, contre 4.5 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 France hexagonale et aux défrichements liés à l'orpaillage en Guyane. Les défrichements sont le premier poste en termes d'émissions en France hexagonale, 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 200 : Surfaces et Emissions / Absorptions en zones urbanisées



Source Citepa / format France UE - mars 2026

RapportageUTCATF.xlsx/NIR2

Tableau 268 : 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)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	4 401	65	4 467	3 880	34	3 915	521	31	552
1991	4 425	68	4 493	3 901	36	3 937	523	32	556
1992	4 445	70	4 515	3 922	37	3 959	523	34	557
1993	4 464	73	4 537	3 943	38	3 981	521	35	556
1994	4 483	76	4 559	3 964	39	4 003	519	36	556
1995	4 502	78	4 581	3 985	40	4 025	517	38	555
1996	4 521	81	4 602	4 006	41	4 047	515	39	555
1997	4 540	83	4 623	4 027	43	4 070	513	41	554

1998	4 558	86	4 644	4 048	44	4 092	511	42	553
1999	4 577	88	4 666	4 069	45	4 114	509	43	552
2000	4 596	91	4 687	4 089	46	4 136	506	45	551
2001	4 626	94	4 719	4 111	47	4 158	515	46	561
2002	4 652	96	4 748	4 133	48	4 181	520	48	567
2003	4 679	99	4 777	4 155	50	4 204	524	49	573
2004	4 704	101	4 805	4 176	51	4 227	527	50	577
2005	4 728	104	4 832	4 198	52	4 250	530	52	582
2006	4 752	106	4 858	4 220	53	4 273	532	53	585
2007	4 781	109	4 890	4 241	54	4 295	540	54	595
2008	4 809	111	4 920	4 262	55	4 317	548	56	603
2009	4 841	113	4 954	4 282	58	4 340	559	56	614
2010	4 871	115	4 986	4 303	60	4 363	568	55	623
2011	4 905	117	5 022	4 327	62	4 388	579	55	634
2012	4 937	119	5 057	4 347	64	4 411	591	55	646
2013	4 961	121	5 082	4 366	66	4 432	595	55	650
2014	4 983	123	5 106	4 385	68	4 453	598	55	653
2015	5 003	125	5 128	4 404	70	4 474	599	55	654
2016	5 023	127	5 150	4 422	73	4 495	601	55	656
2017	5 040	129	5 169	4 440	75	4 514	600	54	655
2018	5 058	131	5 189	4 458	77	4 535	601	54	655
2019	5 078	133	5 211	4 475	79	4 554	604	54	658
2020	5 099	135	5 234	4 491	81	4 572	608	54	661
2021	5 121	137	5 257	4 519	83	4 602	602	53	655
2022	5 141	139	5 280	4 542	85	4 628	599	53	652
2023	5 163	140	5 303	4 566	88	4 653	597	53	650
2024	5 185	142	5 328	4 588	90	4 678	597	53	650

Tableau 269 : 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)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	5 834	1 180	7 014	51	0	51	5 784	1 180	6 963
1991	5 981	1 206	7 188	65	0	65	5 916	1 206	7 122
1992	5 899	1 233	7 132	77	0	77	5 822	1 233	7 055
1993	5 540	1 259	6 799	98	0	98	5 442	1 259	6 701
1994	5 096	1 286	6 382	104	0	104	4 992	1 286	6 278
1995	4 539	1 312	5 851	109	0	109	4 430	1 312	5 742
1996	4 549	1 338	5 888	115	0	115	4 434	1 338	5 773
1997	4 441	1 365	5 806	120	0	120	4 321	1 365	5 686
1998	4 458	1 391	5 849	126	0	126	4 332	1 391	5 723
1999	4 431	1 418	5 849	131	0	131	4 300	1 418	5 717
2000	4 398	1 444	5 842	137	0	137	4 261	1 444	5 705
2001	4 985	1 471	6 456	142	0	142	4 843	1 471	6 313
2002	5 004	1 497	6 501	148	0	148	4 857	1 497	6 354
2003	4 951	1 523	6 475	153	0	153	4 798	1 523	6 322
2004	4 934	1 550	6 484	269	0	269	4 664	1 550	6 214
2005	4 941	1 576	6 518	362	0	362	4 579	1 576	6 156
2006	4 992	1 603	6 594	435	0	435	4 556	1 603	6 159
2007	5 500	1 629	7 129	493	0	493	5 006	1 629	6 636
2008	5 664	1 656	7 319	539	0	539	5 125	1 656	6 780
2009	6 401	1 520	7 921	720	0	720	5 681	1 520	7 201
2010	6 421	1 517	7 937	715	0	715	5 705	1 517	7 222
2011	6 699	1 513	8 212	709	0	709	5 989	1 513	7 503
2012	6 781	1 510	8 291	702	0	702	6 079	1 510	7 589
2013	6 293	1 507	7 800	694	0	694	5 599	1 507	7 106
2014	5 906	1 504	7 410	685	0	685	5 221	1 504	6 724
2015	5 680	1 500	7 181	677	0	677	5 003	1 500	6 504
2016	5 793	1 416	7 209	668	0	668	5 125	1 416	6 541
2017	5 417	1 411	6 828	660	0	660	4 757	1 411	6 169

2018	5 384	1 406	6 791	651	0	651	4 733	1 406	6 139
2019	5 461	1 401	6 862	643	0	643	4 819	1 401	6 220
2020	5 411	1 396	6 807	634	0	634	4 777	1 396	6 173
2021	5 494	1 391	6 884	625	0	625	4 868	1 391	6 259
2022	5 435	1 385	6 820	617	0	617	4 818	1 385	6 203
2023	5 440	1 380	6 820	608	0	608	4 831	1 380	6 212
2024	5 528	1 375	6 903	602	0	602	4 926	1 375	6 302

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.

6.8.2.1 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.

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.

6.8.2.2Zones artificialisées restant zones artificialisées (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)

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Les variations de stocks de ces compartiments sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Flux estimés en complément

Des flux de carbone dans la biomasse liés à l'évolution du linéaire de haies sont pris en compte. La méthodologie est décrite dans la section UTCATF – général.

Bois mort et litière (zones urbanisées restant zones urbanisées)

Les variations de stocks de ces compartiments sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Matière organique du sol (zones urbanisées restant zones urbanisées) - sols minéraux

Flux estimés dans la routine du modèle de variation de stock par maille

Les variations de stocks de ces compartiments sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

Flux estimés en complément

Des émissions complémentaires de N2O (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 Zones Artificialisées restant Zones artificialisées mais changeant de sous-catégorie. L'estimation des émissions directes de N2O 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-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).

6.8.2.3 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 variations de stocks de ces compartiments sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

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

Inventaire	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	7 014	5 851	5 842	6 518	7 937	8 212	8 291	7 800	7 410	7 181	7 209	6 828	6 791	6 862	6 807	6 884	6 820	6 820	6 903
Différence	kt CO2e	+2 875	+1 893	+1 099	+91	+589	+799	+979	+1 149	+1 228	+1 405	+1 676	+1 748	+2 044	+2 206	+2 325	+2 313	+2 067	+1 803	+6 903
	%	+69%	+48%	+23%	+1%	+8%	+11%	+13%	+17%	+20%	+24%	+30%	+34%	+43%	+47%	+52%	+51%	+43%	+36%	-

Source Citepa / mars_2026 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. 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. L'intégration du produit OCSGE sur les années récentes a notamment joué sur les recalculs, et permet de réaliser moins d'extrapolation pour les années récentes.

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 2025, 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-4D-2025-0002 4D Wetlands, CO2, N2O, 1990-2023	For 4D1a Wetlands peat extraction for all years, the TERT noted that in CRT tables 4.D the ICSC (-100 to -50 tC/ha) is the highest in the EU in absolute value. Typical values are between -2 to -14 tC/ha, that is at least three times lower than France's estimates. During the review, France proposed two possible explanations for this outlying position. First, its area reporting could be lower than other Member States as France does not report sites that stopped operating, even if they have not been restored. Second, extraction techniques could be more efficient in France. The TERT recommends 1) that France provide evidence to support these explanations by comparing its approach with other Member States and 2) that France recalculate a complete and consistent time series of CO2 and N2O emissions from organic soils in CRT category 4D1a to ensure that unrestored former peat extraction sites are still reported as drained organic soils.	LULUCF ESR review report 2025	Further clarification will be added next year to the National Inventory Report to clarify this issue. In France, peat extraction is carried out on flooded wetlands. As a result, extraction sites are considered restored and do not generate "on-site" emissions. Consequently, France estimates only "off-site" emissions. When extraction stops, a site is no longer considered emissive and is therefore removed from the activity data under category 4D (Wetlands – Peat Extraction). Reported emissions thus relate exclusively to active extraction sites and to the quantities of peat extracted. In France, extracted peat is used entirely for horticultural purposes meaning that all associated emissions are therefore reported under category 4D. The much higher implied emission factor observed for France (around 50 times higher) is explained by important amount of peat extracted reported on a small areas. The absence of areas with "on-site" emissions from former extraction sites combined with the reporting of substantial "off-site" emissions over only active and dynamic area of extraction sites. It should also be noted that implied emission factors in the range of 2 to 4 tC/ha typically correspond only to "on-site" emissions meaning that MS reporting values in this range generally do not include "off-site" emissions under the Wetlands category.

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* et d'autres produits cartographiques d'usage et de changement d'usage des terres capables de distinguer plus finement les sous catégories de terres artificialisées selon la présence de biomasse.

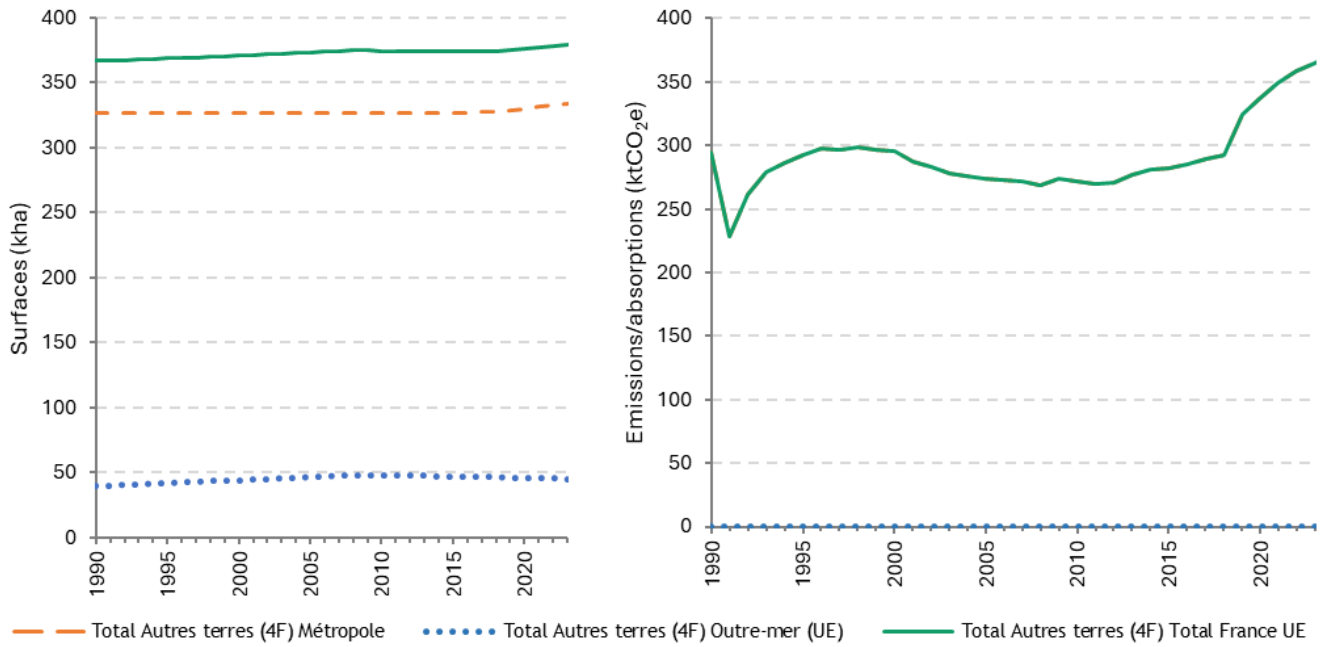
Des travaux sont en cours sur cette thématique et pourraient donner lieu à des améliorations dans les prochaines éditions de l'inventaire. Pour l'instant cette distinction est possible pour les années récentes mais le suivi des terres avant 2015 permet mal de faire cette distinction. Il sera question de ne pas double compter des émissions ou absorptions de biomasse entre les suivis des terres permis par les produits type OCSGE dans les années récentes si une autre approche est développée. La première option serait de rétropoler les observations permises par OCSGE sur les années récentes. La deuxième option serait d'adopter une approche basée sur l'évolution de pourcentages de couverts arborés et d'imperméabilisation (plutôt sur des produits Copernicus CLMS, HRL).

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 2024 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 201 : Surfaces et Emissions / Absorptions en autres terres



Source Citepa / format France UE - mars 2026

RapportageUTCATF.xlsx/NIR2

Tableau 270 : 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)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	327	40	366	316	32	348	11	8	19
1991	327	40	367	316	31	347	11	9	19
1992	327	41	367	316	31	347	11	10	20
1993	327	41	368	316	31	347	11	10	21
1994	326	42	368	316	30	346	11	11	22
1995	326	42	368	316	30	346	11	12	23
1996	326	42	369	316	30	345	11	13	23
1997	326	43	369	316	29	345	11	14	24
1998	326	43	370	316	29	345	11	15	25
1999	326	44	370	316	28	344	11	15	26
2000	326	44	370	316	28	344	11	16	27
2001	326	45	371	316	28	344	10	17	27
2002	326	45	372	316	28	343	10	18	28
2003	326	46	372	316	27	343	10	18	29

2004	326	46	373	316	27	343	10	19	29
2005	326	47	373	316	27	343	10	20	30
2006	326	47	374	316	27	343	10	21	31
2007	326	48	374	316	26	343	10	21	31
2008	326	48	375	316	26	342	10	22	32
2009	326	48	375	316	26	343	10	22	32
2010	326	48	374	316	27	343	10	21	32
2011	326	48	374	316	27	343	10	21	31
2012	326	48	374	316	27	343	10	21	31
2013	326	47	374	316	27	343	10	20	31
2014	327	47	374	316	27	343	11	20	31
2015	327	47	374	316	27	343	11	20	30
2016	327	47	374	316	27	344	11	19	30
2017	327	47	374	316	27	344	11	19	30
2018	327	46	374	316	28	344	11	19	30
2019	329	46	375	315	28	343	14	18	32
2020	330	46	376	313	28	341	16	18	35
2021	331	46	377	312	28	340	19	18	37
2022	333	46	378	310	28	338	22	17	40
2023	334	45	379	309	28	337	25	17	42
2024	335	45	380	307	28	336	28	17	44

Tableau 271 : Emissions / Absorptions en autres terres (en $ktCO_2e$)

	Emissions / Absorptions ($ktCO_2e$)								
	Total Autres terres (4F)			Autres terres restant autres terres (4F1)			Terres devenant Autres terres (4F2)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	294	0	294	0	0	0	294	0	294
1991	228	0	228	0	0	0	228	0	228
1992	261	0	261	0	0	0	261	0	261
1993	279	0	279	0	0	0	279	0	279
1994	287	0	287	0	0	0	287	0	287
1995	292	0	292	0	0	0	292	0	292
1996	297	0	297	0	0	0	297	0	297
1997	297	0	297	0	0	0	297	0	297
1998	299	0	299	0	0	0	299	0	299
1999	296	0	296	0	0	0	296	0	296
2000	295	0	295	0	0	0	295	0	295
2001	287	0	287	0	0	0	287	0	287
2002	283	0	283	0	0	0	283	0	283
2003	278	0	278	0	0	0	278	0	278
2004	276	0	276	0	0	0	276	0	276
2005	274	0	274	0	0	0	274	0	274
2006	273	0	273	0	0	0	273	0	273
2007	272	0	272	0	0	0	272	0	272
2008	268	0	268	0	0	0	268	0	268
2009	274	0	274	0	0	0	274	0	274
2010	272	0	272	0	0	0	272	0	272
2011	270	0	270	0	0	0	270	0	270
2012	271	0	271	0	0	0	271	0	271
2013	277	0	277	0	0	0	277	0	277
2014	281	0	281	0	0	0	281	0	281
2015	282	0	282	0	0	0	282	0	282
2016	285	0	285	0	0	0	285	0	285
2017	290	0	290	0	0	0	290	0	290
2018	292	0	292	0	0	0	292	0	292
2019	325	0	325	0	0	0	325	0	325
2020	337	0	337	0	0	0	337	0	337
2021	349	0	349	0	0	0	349	0	349
2022	358	0	358	0	0	0	358	0	358
2023	364	0	364	0	0	0	364	0	364

2024	372	0	372	0	0	0	372	0	372

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 pour le moment 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.

6.9.2.1 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.

6.9.2.2 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.

6.9.2.3 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 variations de stocks de ces compartiments sont calculées avec le modèle de variation de stock à la maille. Se référer à l'annexe UTCATF_suividesterres, section CARBONE.

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

Inventaire	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	37	51	94	99	77	69	64	61	65	63	63	63	57	50	44	43	42	44	0
Nouveau	kt CO2e	294	292	295	274	272	270	271	277	281	282	285	290	292	325	337	349	358	364	372
Différence	kt CO2e	+257	+241	+201	+175	+194	+201	+207	+216	+216	+219	+222	+226	+235	+274	+293	+306	+317	+320	+372
	%	+694%	+471%	+214%	+177%	+252%	+294%	+323%	+353%	+329%	+350%	+350%	+359%	+413%	+545%	######	+709%	+759%	+724%	-

Source Citepa / mars_2026 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.

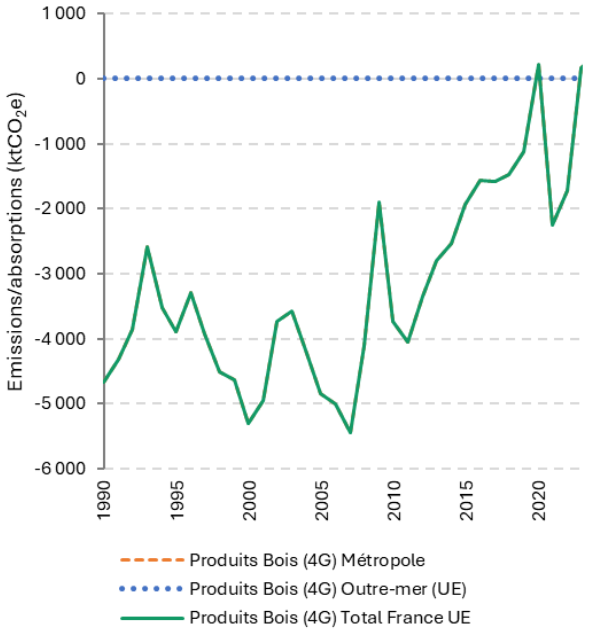
6.10 Produits bois (CRT 4G)

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 272 : Emissions /absorptions pour les produits bois (ktCO_2e)

	Emissions / Absorptions (ktCO2e)		
	Produits Bois (4G)		
	France hexagonale	Outre-mer (UE)	Total France UE
1990	-4 669	0	-4 669
1991	-4 314	0	-4 314
1992	-3 851	0	-3 851
1993	-2 583	0	-2 583
1994	-3 517	0	-3 517
1995	-3 899	0	-3 899
1996	-3 299	0	-3 299
1997	-3 921	0	-3 921
1998	-4 499	0	-4 499
1999	-4 623	0	-4 623
2000	-5 292	0	-5 292
2001	-4 952	0	-4 952
2002	-3 725	0	-3 725
2003	-3 576	0	-3 576
2004	-4 226	0	-4 226
2005	-4 850	0	-4 850
2006	-4 995	0	-4 995
2007	-5 436	0	-5 436
2008	-4 099	0	-4 099
2009	-1 898	0	-1 898
2010	-3 738	0	-3 738
2011	-4 056	0	-4 056
2012	-3 344	0	-3 344
2013	-2 794	0	-2 794
2014	-2 527	0	-2 527
2015	-1 935	0	-1 935
2016	-1 564	0	-1 564
2017	-1 586	0	-1 586
2018	-1 470	0	-1 470
2019	-1 127	0	-1 127
2020	214	0	214
2021	-2 245	0	-2 245
2022	-1 717	0	-1 717
2023	167	0	167
2024	374	0	374



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.

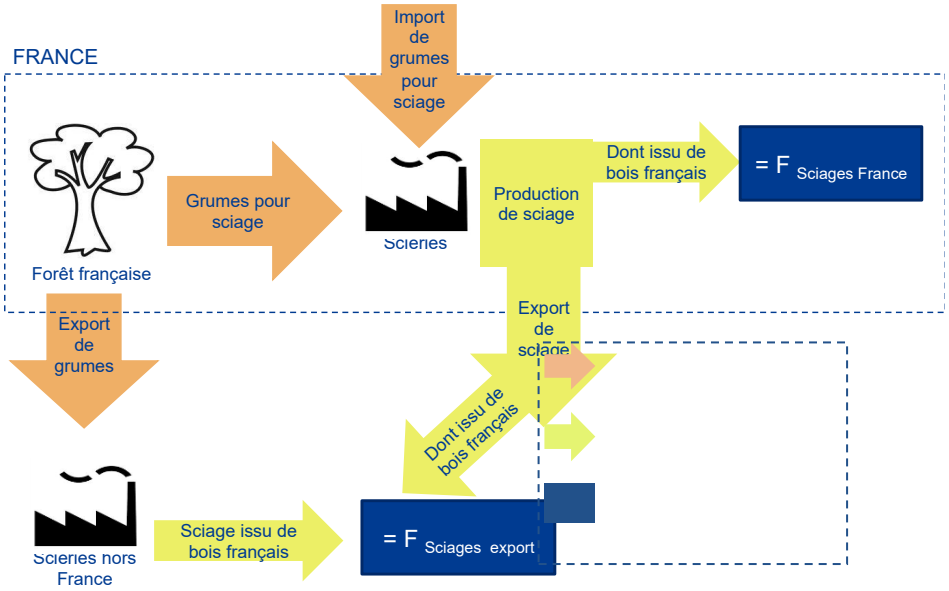
Emissions de CO_2

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 273 : 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 274 : 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

Les flux entrants permettent de distinguer :

- Les produits bois issus de bois récolté en France.
- Les produits bois issus de bois importé
- Le bois exporté.

Les statistiques de récolte de bois traitent de l'ensemble du bois commercial récolté, qu'il s'agisse de bois en forêt ou hors forêt. Les statistiques de récolte de bois et de sciages sont cohérentes avec les statistiques de récolte de bois utilisés pour estimer les prélèvements en Forêt.

Les quantités de bois exporté proviennent des statistiques du ministère de l'Agriculture sur le commerce extérieur.

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 275 : Production de produits bois issus des prélèvements intérieurs

	Sciages (tC)	Panneaux (tC)	Contreplaqués (tC)	Papier (tC)
1990	1 739 967	1 028 287	247 959	1 055 362
1991	1 676 759	1 034 084	232 197	1 086 234
1992	1 599 148	1 040 879	218 389	1 087 747
1993	1 481 853	972 760	200 420	967 959
1994	1 566 798	1 022 514	213 623	1 095 640
1995	1 606 520	1 070 680	221 094	1 140 985
1996	1 528 577	1 161 306	208 955	1 006 277
1997	1 570 121	1 245 132	215 478	1 069 617
1998	1 639 225	1 361 391	224 062	1 069 319
1999	1 645 708	1 405 547	226 191	1 091 645
2000	1 597 425	1 419 193	314 326	1 267 556
2001	1 602 483	1 497 635	259 492	1 194 145
2002	1 463 264	1 462 663	219 609	1 103 313
2003	1 443 739	1 512 446	216 322	1 050 051
2004	1 481 198	1 578 797	220 494	1 139 391
2005	1 611 585	1 744 020	197 464	1 070 514
2006	1 654 431	1 736 324	206 368	1 107 607
2007	1 674 695	1 866 835	227 516	1 101 279
2008	1 564 739	1 692 367	223 228	1 060 155
2009	1 415 183	1 367 314	244 328	918 046
2010	1 456 606	1 611 673	183 860	1 201 340
2011	1 541 549	1 732 617	193 521	1 100 916
2012	1 473 085	1 713 551	168 392	1 041 271
2013	1 470 472	1 657 161	166 891	962 063
2014	1 400 477	1 574 948	183 438	1 031 166
2015	1 394 143	1 506 026	179 175	950 596
2016	1 381 098	1 469 827	193 084	878 665
2017	1 420 733	1 413 368	206 352	882 188
2018	1 442 164	1 405 807	221 864	816 561
2019	1 366 401	1 403 944	213 576	798 950
2020	1 347 187	1 060 003	193 412	798 027

2021	1 541 699	1 397 016	209 296	920 587
2022	1 495 194	1 304 599	211 509	930 031
2023	1 363 470	1 128 971	180 758	747 953
2024	1 386 011	1 062 960	174 117	716 955

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 276 : Fin de vie des produits bois issus des prélèvements intérieurs

	Sciages (tC)	Panneaux (tC)	Contreplaqués (tC)	Papier (tC)
1990	1 198 514	562 861	127 327	909 625
1991	1 222 329	575 667	129 902	924 844
1992	1 235 344	588 296	132 080	940 131
1993	1 236 645	599 736	133 845	948 308
1994	1 237 074	610 620	135 517	956 279
1995	1 244 467	622 545	137 387	971 590
1996	1 249 197	636 044	139 160	981 105
1997	1 252 117	651 559	140 828	986 514
1998	1 260 777	669 387	142 632	994 334
1999	1 272 254	688 916	144 516	1 002 473
2000	1 279 923	708 700	147 392	1 019 309
2001	1 284 321	729 206	150 576	1 039 195
2002	1 281 227	749 738	152 607	1 049 451
2003	1 271 324	769 917	154 099	1 051 977
2004	1 264 662	791 133	155 568	1 056 076
2005	1 268 550	814 941	156 787	1 060 630
2006	1 280 985	840 241	157 818	1 063 339
2007	1 294 780	866 537	159 170	1 067 209
2008	1 301 837	891 494	160 681	1 068 451
2009	1 294 995	908 929	162 352	1 060 860
2010	1 284 797	924 820	163 531	1 060 970
2011	1 283 557	945 263	164 106	1 069 392
2012	1 283 695	966 532	164 490	1 069 506
2013	1 280 929	986 185	164 562	1 063 048
2014	1 275 729	1 003 403	164 805	1 056 839
2015	1 268 442	1 018 085	165 181	1 050 558
2016	1 261 970	1 030 931	165 661	1 037 687
2017	1 258 549	1 042 157	166 439	1 022 864
2018	1 259 220	1 052 204	167 528	1 006 457
2019	1 257 213	1 061 848	168 674	987 711
2020	1 251 114	1 066 478	169 469	969 871
2021	1 255 654	1 070 930	170 198	959 542
2022	1 266 927	1 078 578	171 116	956 322
2023	1 267 444	1 082 346	171 686	945 119

2024	1 262 539	1 082 714	171 817	925 046

L'intégralité du bilan des produits bois utilisées dans l'inventaire est disponible par produit et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Discussions

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 1er 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 28 (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 hexagonale (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 hexagonale, 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

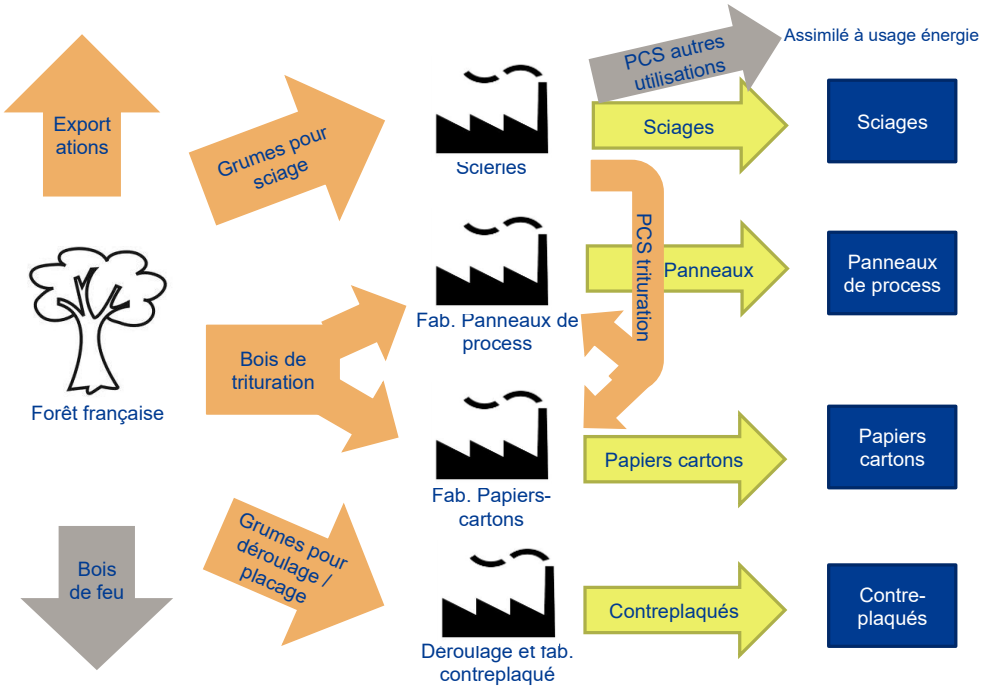
Les statistiques de production de sciages (l'enquête annuelle Exploitations forestières et scieries (EXF-SRI) sont uniquement disponibles pour la France hexagonale. Dans l'inventaire, les flux des produits bois issus d'Outre-mer sont donc comptabilisés en tant qu'oxydation instantanée.

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 hexagonale. 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 202 : 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

Inventaire	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	-4 669	-3 899	-5 292	-4 850	-3 738	-4 056	-3 344	-2 794	-2 527	-1 935	-1 564	-1 586	-1 470	-1 127	214	-2 245	-1 717	167	374
Différence	kt CO2e	+699	-790	-729	-587	-527	-518	-498	-489	-471	-460	-447	-431	-426	-431	-415	-429	-455	+652	+374
	%	-13%	+25%	+16%	+14%	+16%	+15%	+17%	+21%	+23%	+31%	+40%	+37%	+41%	+62%	-66%	+24%	+36%	-134%	-

Source Citepa / mars_2026 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

- Révision des séries historiques de production de panneaux de process : l'identification de nouvelles données issues de la FAO a conduit à corriger les estimations de production pour les années antérieures à 1992, améliorant la cohérence des séries temporelles et résorbant notamment une incohérence observée par la revue entre 1991 et 1992.
- Actualisation des données d'activité récentes : certaines données utilisées dans les inventaires précédents étaient provisoires et maintenues égales à l'année précédente en l'absence d'informations actualisées. La publication de nouvelles données statistiques a permis leur mise à jour, notamment pour les années 2022 et 2023.

6.10.6 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 prise en compte du recyclage ;
- Mise à jour des données sur la répartition des sciages par type de produits.

6.11 Autres (CRT 4H)

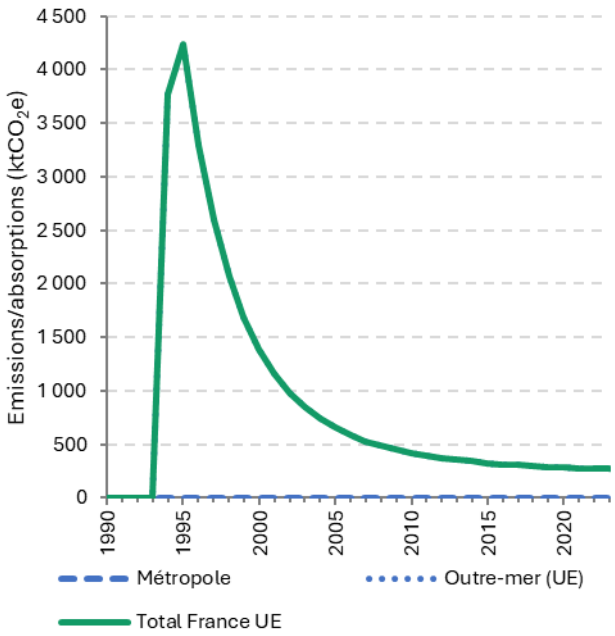
6.11.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette section traite spécifiquement des émissions du barrage de Petit-Saut en Guyane mis en eau en 1994, 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.

Figure 203 : Emissions de CH_4 et de CO_2 dues au barrage de Petit-Saut en Guyane

	Emissions / Absorptions (ktCO2e)		
	Autres (4H)		
	France hexagonale	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
2024	0	267	267



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

Inventaire	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ancien	kt CO2e	0	4 239	1 383	653	419	394	372	354	339	326	315	306	297	290	284	279	274	270	0
Nouveau	kt CO2e	0	4 239	1 383	653	419	394	372	354	339	326	315	306	297	290	284	279	274	270	267
Différence	kt CO2e	0	0	-0.0000	+0.0000	-0.0000	-0.0000	+0.0000	-0.0000	+0.0000	+0.0000	+0.0000	+0.0000	+0.0000	-0.0000	-0.0000	+0.0000	-0.0000	+0.0000	+267
	%	-	0%	-0%	+0%	-0%	-0%	+0%	-0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	-0%	-0.00%	+0%	-0%	+0%	-

Source Citepa / mars_2026 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

Des travaux ont été mené avec l'Ademe Guyane sur les émissions du secteur énergétique. Une partie du travail portait sur Petit Saut et les émissions UTCATF de la retenue. Des questions sont notamment soulevées en lien avec l'exploitation des bois immergés de la retenue. Ce point est à l'étude pour une éventuellement adaptation dans les prochaines éditions.

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[41]) 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 277 : Production de déchets en France en 2022 (En milliers de tonnes)

	Secteurs						
Catégorie de déchets	Agriculture pêche	Industrie	Construction	Traitement déchets eau assainissement dépollution	Tertiaire	Ménages	Ensemble
Déchets minéraux non dangereux	0	1 692	230 235	3 473	987	3 360	239 748
Déchets non minéraux non dangereux	1 016	15 845	14 151	18 162	14 693	30 461	94 328
Déchets dangereux	337	2 086	3 051	3 659	1 366	893	11 392
Total	**1 353**	**19 623**	**247 437**	**25 294**	**17 046**	**34 714**	**345 468**
Total hors déchets secondaires	*1 345*	*19 251*	*247 434*	*15 903*	*17 022*	*34 714*	*335 670*

Source : SDES, 2024

Les déchets minéraux non dangereux sont, compte tenu de leur nature, très majoritairement produit par les industries de la construction (93%) 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 77% des déchets dangereux générés en 2022.

[41] SDES : Service de la Données et des Etudes Statistiques (ex : SOES) (Service statistique des ministères en charge des transports et de l'environnement)

Figure 204 : Contribution relative des secteurs d'activité en France (2022) à la production de déchets

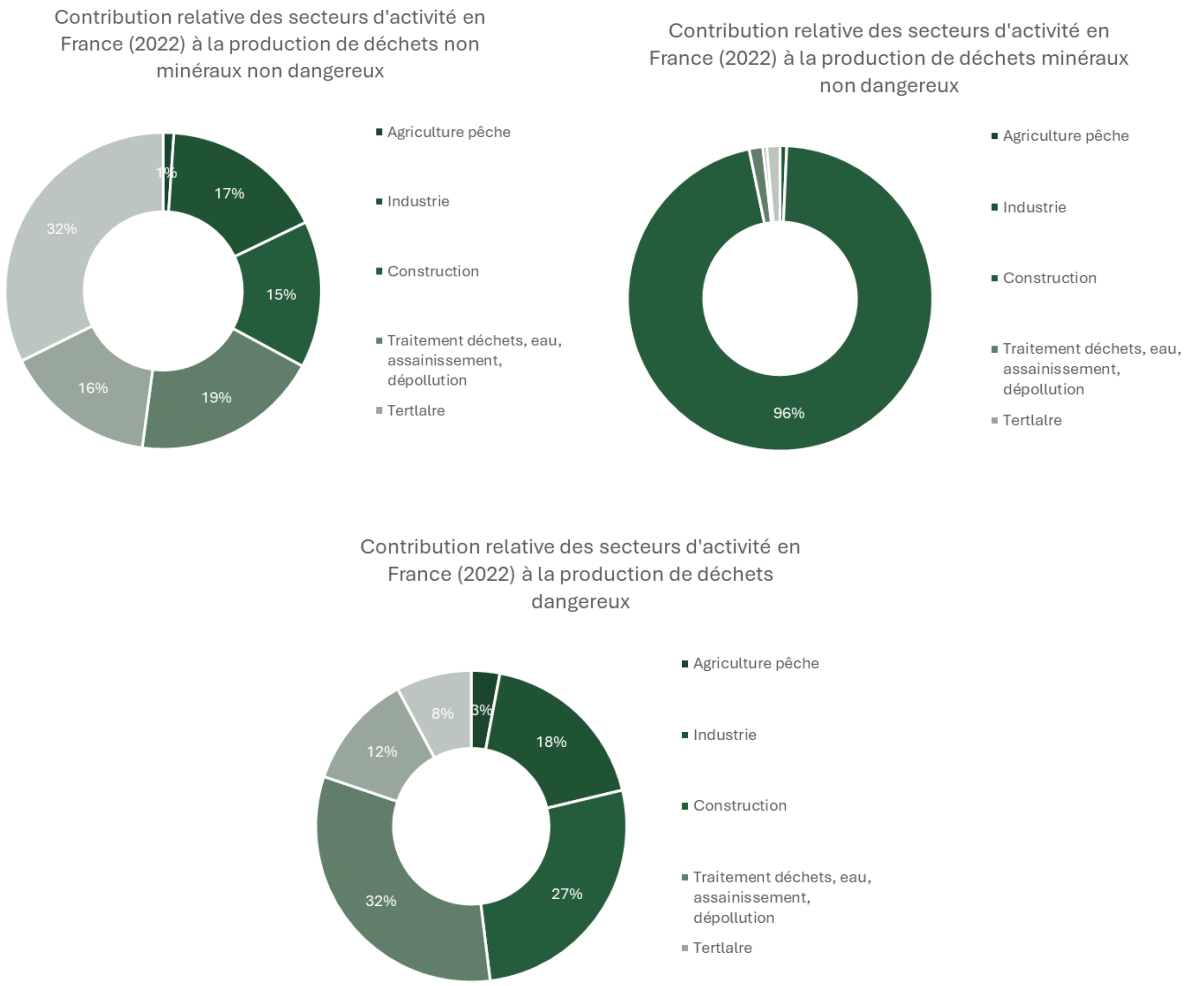


Tableau 278 : Traitement par type de déchets en France en 2022 (En milliers de tonnes)

	Recyclage	Remblayage	Incinération avec récupération d'énergie	Incinération sans récupération d'énergie	Stockage et épandage	Total
Déchets minéraux	114 889	56 212	108	14	39 457	210 680
Déchets non minéraux non dangereux	36 719	384	22 480	1 754	18 563	79 900
Déchets dangereux	2 419	0	1 074	1 628	2 378	7 499
Tous déchets	**154 026**	**56 597**	**23 662**	**3 396**	**60 398**	**298 078**

(Source : SDES, 2024)

En raison du poids du secteur de la construction en France, les déchets minéraux représentent plus des 2/3 des déchets produits : 211 millions de tonnes en 2022. 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[42] 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 hexagonal, 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[43]), dite enquête COLLECTE.

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 :

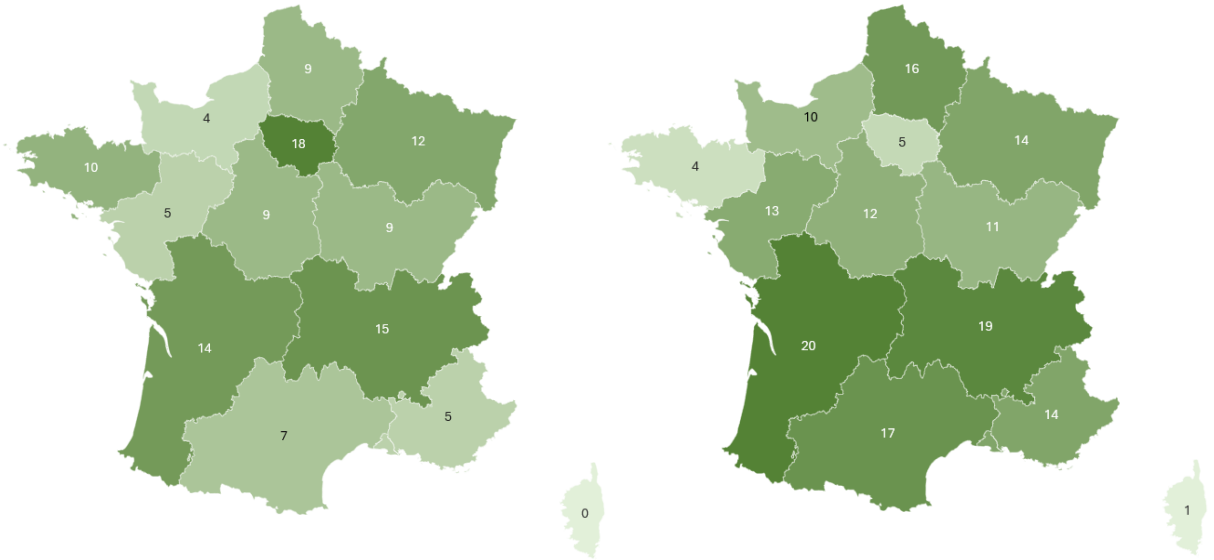
- Stockage en ISDND (187 sites)
- Incinération avec et sans récupération d'énergie (119 sites)
- Compostage (667 sites)
- Méthanisation (16 sites)
- Compostage ou méthanisation avec Tri mécano biologiques (TMB) en amont (33 sites)
- Tri de DMA (351 sites)

Sur le territoire hexagonal 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.

[42] ADEME : Agence de la Transition Ecologique (établissement public national sous tutelle du ministère français en charge de l'environnement)

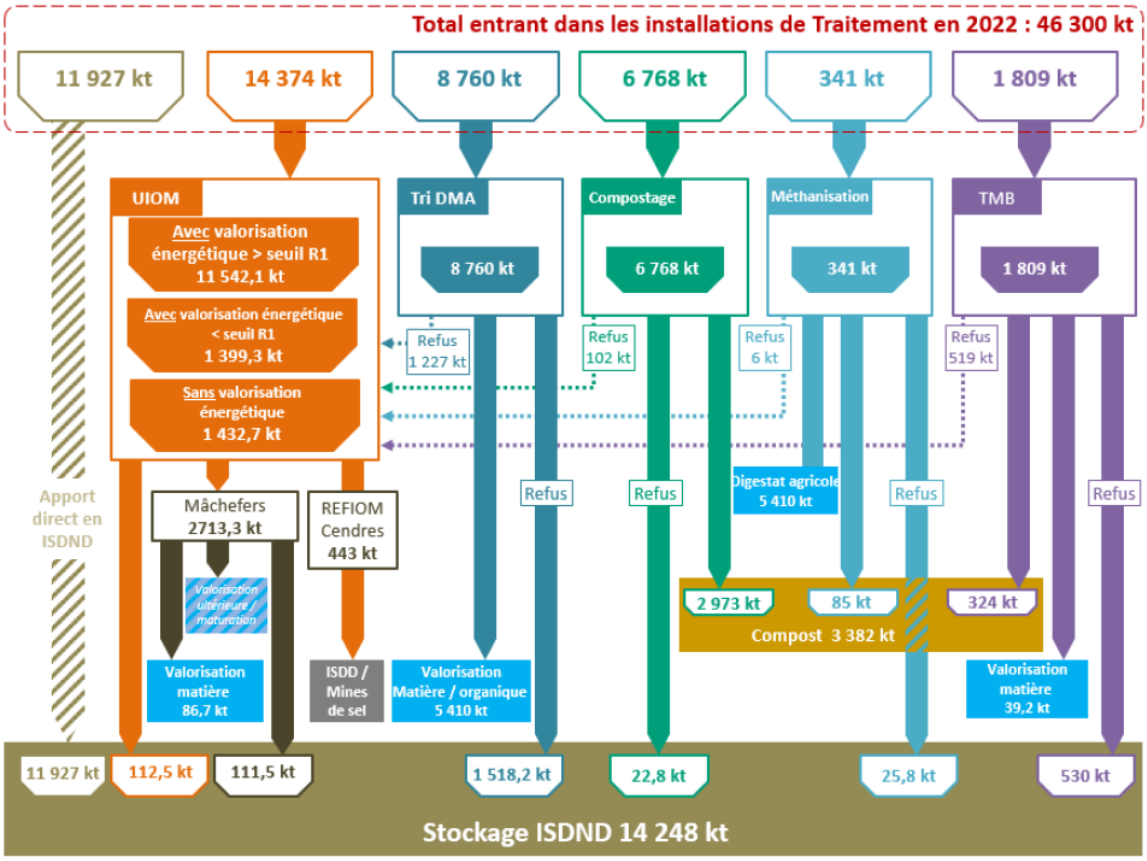
[43] REP : Responsabilité Elargie des Producteurs (collecte séparée d'une vingtaine de types de déchets : emballages, piles et accumulateurs, papier, textiles, ameublement, gaz fluorés, automobiles …)

Figure 205 : 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.

Figure 206 : 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 le Pôle national des transferts transfrontaliers de déchets (PNTTD), 3,3 Mt ont été exportés vers l'étranger en 2024 après leur collecte (principalement vers l'Espagne (27,9 %), la Belgique (27,4 %) et l'Allemagne (12,5 %)) ;

En France, les déchets (DMA et DAE hors inertes) sont donc éliminés au travers des filières de traitement suivantes :

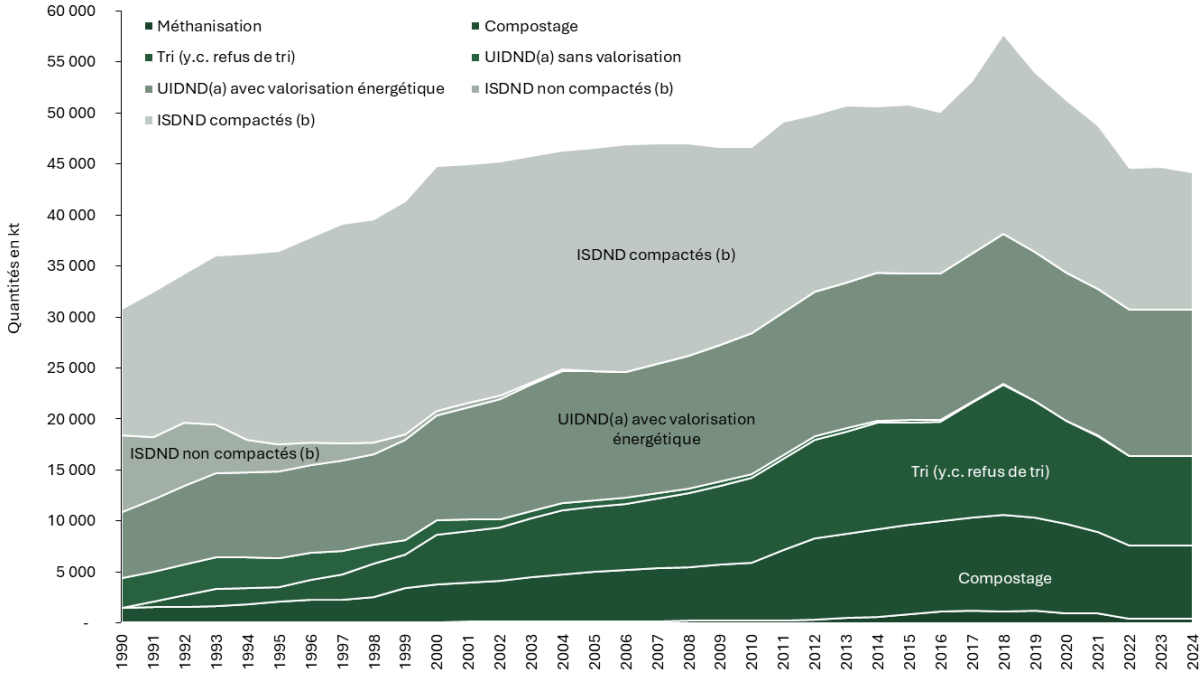
- **Le stockage en Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND)** ; les émissions liées du stockage des déchets non inertes non dangereux (ménagers et industriels) sont pris en compte dans l'inventaire (5A). Les boues stockées en ISDND sont prises en compte. Aucune émission n'est associée 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 30% en 2024. 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 207 : Evolution des quantités de déchets ménagers et assimilés traitées par filière de traitement en kt – périmètre UE

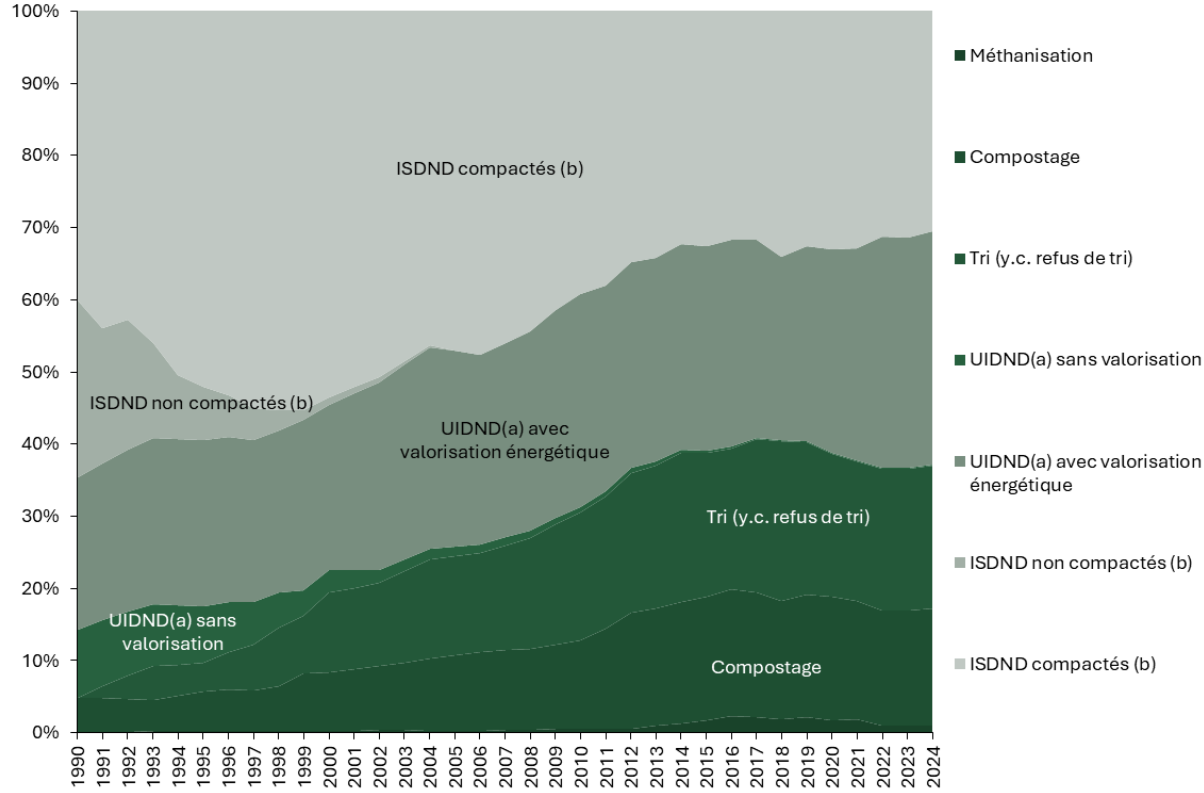


source Citepa / format CCNUCC - mars-26 Graph_5.xlsx/DMA

(a) UIDND = Usine d'Incinération de Déchets Non Dangereux

(b) ISDND = Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux

Figure 208 : Evolution de la quantité de déchets municipaux par filière de traitement centralisées (Périmètre France UE)



source Citepa / format CCNUCC - mars-26 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 23% des émissions nationales hors UTCATF en 2024. Il participe également aux émissions de CO_2 et de N_2O à hauteur de 0,5% et 9,4%, respectivement, en 2024. 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 279 : Émissions de gaz à effet de serre des DECHETS (CRT 5)

DECHETS (périmètre France UE)			Secteurs-d.xlsx	
	1990		2024	
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%	1 235	0.5%
CH_4	13 936	17%	14 077	23%
N_2O	2 511	4.7%	2 627	9.4%
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%	17 938	4.9%

source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

7.2 Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) (5A)

7.2.1 Caractéristiques de la catégorie

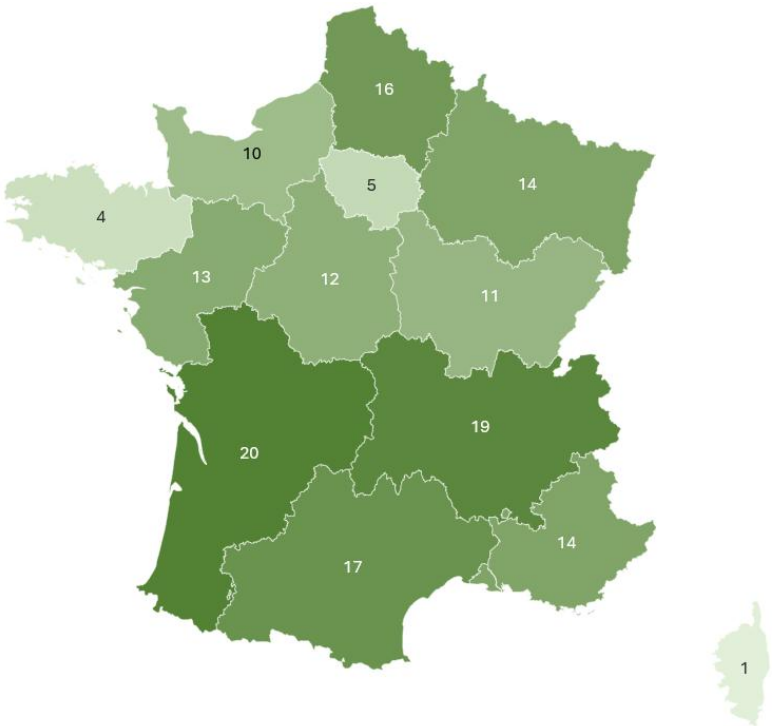
Tableau 280 : Substances pour lesquelles le secteur 5A est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
5A	CH_4	5ème	3,1%	18ème	1,5%

Les ISDND sont utilisées pour le stockage des déchets non dangereux (déchets ménagers, déchets industriels banals, boues d'épuration, etc.). En France hexagonale 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 (hexagone 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[44] comptabilisait, en 2022, 165 installations en exploitation, toutes de type compacté.

Figure 209 : 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.

[44] ADEME : Agence De la Transition Ecologique (établissement public national sous la tutelle du ministère de l'environnement)

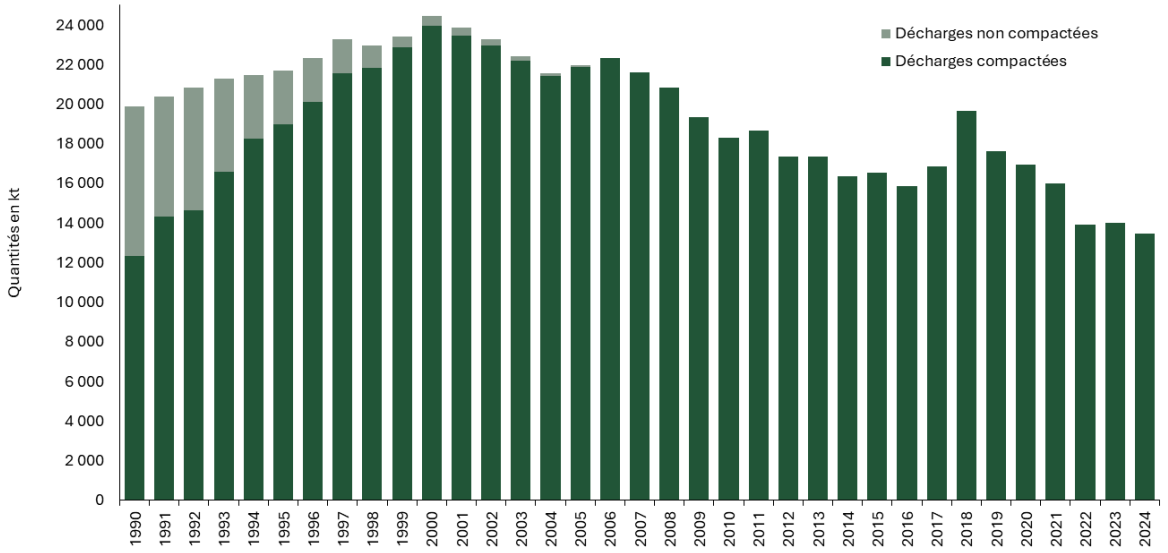
Les données sur les quantités de déchets non dangereux stockés sont disponibles au travers d'enquêtes menées a minima tous les deux ans par l'ADEME auprès des ISDND [32]. La dernière édition de cette enquête a été publiée en 2024 et traite des déchets ménagers traités en 2022. A partir de l'édition 2025, 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 2024. 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 hexagonale 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 210 : 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-26

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).

1. **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.).

2. **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 (hexagone, 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 l'Hexagone
  - 1 dédiée aux ISDND contrôlées non compactées de l'Hexagone
  - 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 :

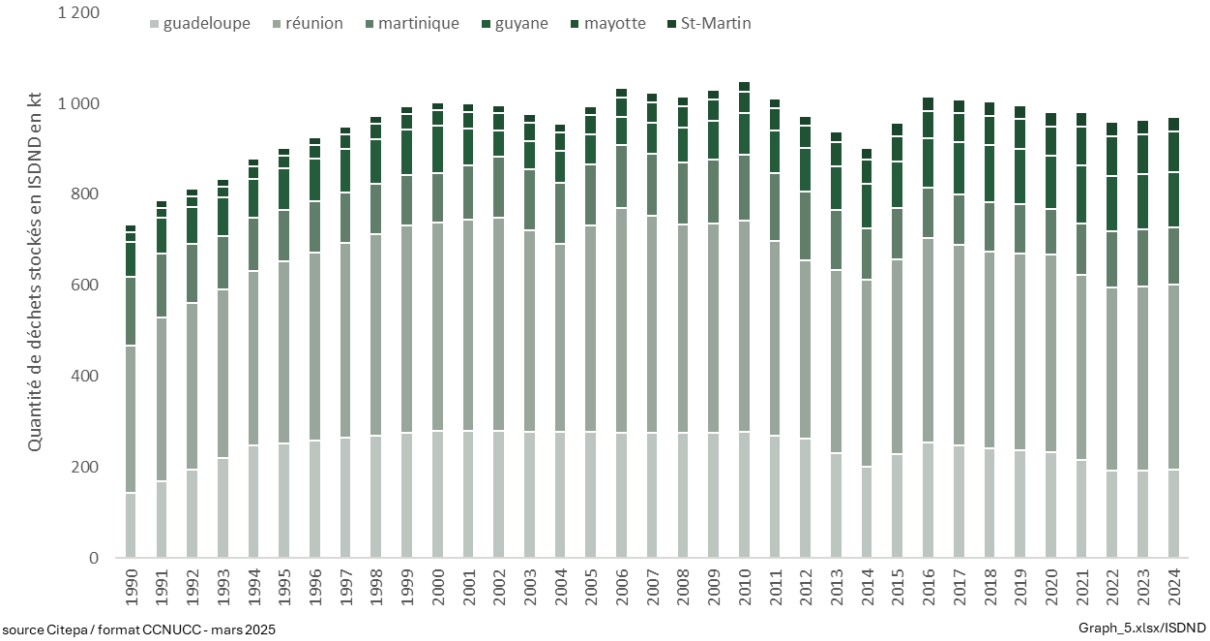
Les données sur les quantités de déchets non dangereux stockés sont disponibles au travers d'enquêtes menées a minima tous les deux ans par l'ADEME auprès des ISDND [32]. La dernière édition de cette enquête a été publiée en 2024 et traite des déchets ménagers traités en 2022.

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 2024. 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 211 : Evolution des quantités de déchets non dangereux stockés en ISDND en kt dans les territoires ultramarins inclus dans l'UE



Composition des déchets :

L'IPCC 2019 Waste Tool considère les catégories de déchets suivantes des lignes directrices 2006 du GIEC (Volume 5, Chapitre 2)[45] : 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.

[45] 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 03F - Boues	Boues
12.11 - Boues d'épuration des eaux usées collectives 03F - Boues	Boues
12.4 - Matières de vidanges 03F - Boues	Boues
03.2 - Boues industrielles 03A - Déchets dangereux	Boues
12.12 - Boues ordinaires d'épuration des eaux usées 03F - Boues	Boues
12.5 - Boues de curage des égouts 03F - Boues	Boues
12 - Boues ordinaires 03F - Boues	Boues
03.21 - Boues prov. des procédés industriels et du traitement des effluents 03A - Déchets dangereux	Boues
12.2 - Boues de traitement d'eaux potables 03F - Boues	Boues
12.121 - Digestat 03F - Boues	Boues
13.6 - Terres et boues de dragage polluées 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.

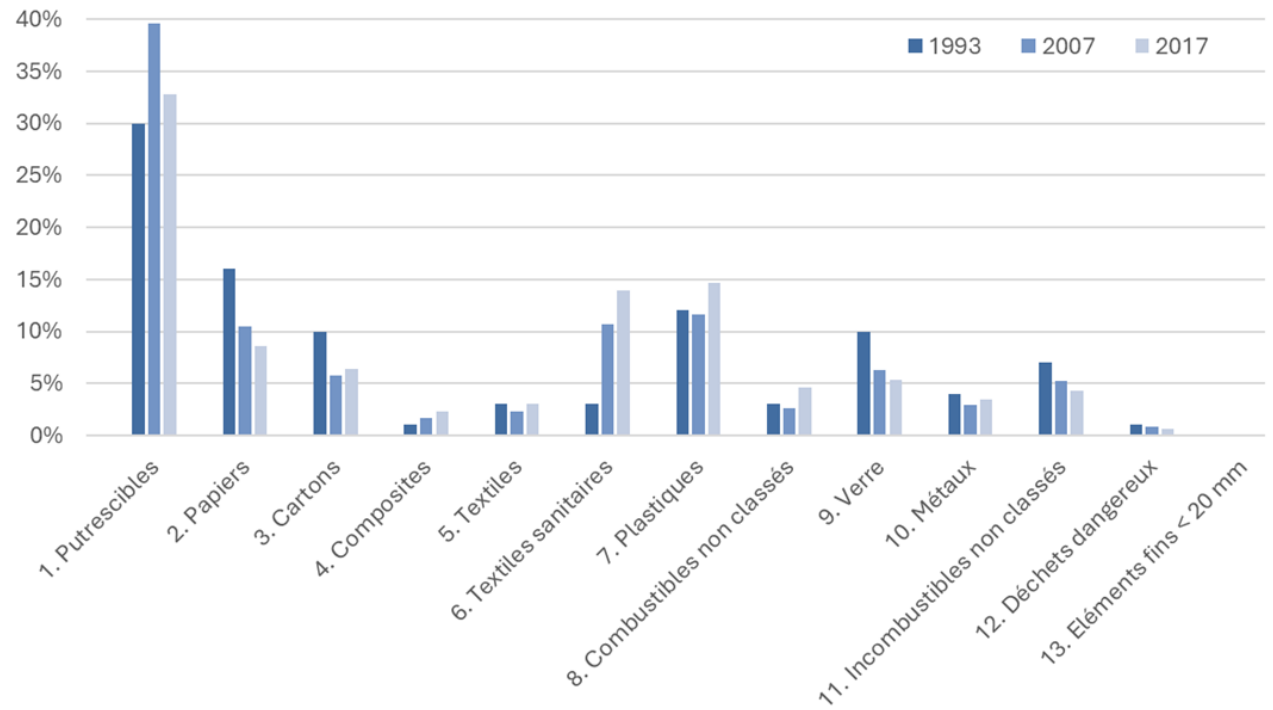
Les enquêtes **MODECOM de l'ADEME** permettent en particulier de caractériser les ordures ménagères résiduelles (OMR), aussi appelées « poubelle grise », c'est-à-dire les déchets des ménages en mélange ne faisant pas l'objet d'une collecte sélective. Ces déchets finissent en stockage ou en incinération.

Ces enquêtes successives présentent l'évolution de la production d'ordures ménagères entre 1993, 2007 et 2017.

Tableau 281 : Composition des ordures ménagères entre 1993 et 2017 [46]

	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 212 : 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 » 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 282 : 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 283 : 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%			

[46] 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.
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.

Tableau 284 : 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.

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 285 : Composition des déchets stockés en installation de stockage recevant des déchets ménagers (y.c. déchets industriels, hors boues) dans l'Hexagone

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%*
2024	14.8%	3.9%	17.1%	6.0%	2.7%	6.7%	48.8%	*19.4%*

** et cuirs et caoutchoucs*

Zone climatique :

Pour l'Hexagone, 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 dans l'Hexagone. Cependant, ne pouvant pas les distinguer des décharges contrôlées non compactées, elles sont considérées dans une même catégorie.

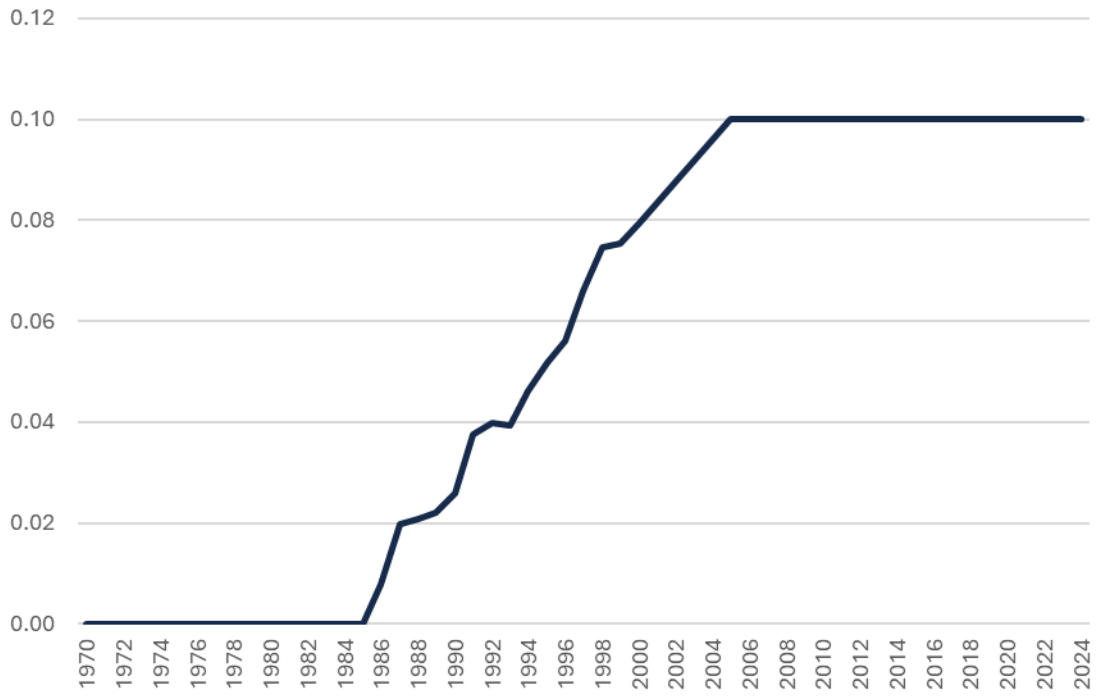
Facteur d'oxydation (Ox)

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 286 : 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 - 2024	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 2ème niveau de la catégorie (i.e. 5A).

Les incertitudes estimées pour le secteur 5A sont les suivantes pour 2024 :

- 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	2024
Ancien	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	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	11 668	11 425
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+0.35	+11 425
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	+0%	-

Source Citepa / mars_2026 RecalculI_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

Aucun recalcul en particulier n'est à justifier.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude

7.2.6 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).

Une étude nationale sera menée en 2026 pour caractériser la composition des refus de traitement, afin d'améliorer l'estimation des émissions de GES associées à cette fraction de déchets. L'ambition est d'intégrer les résultats dans l'inventaire à partir de 2027.

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 287 : Substances pour lesquelles le secteur 5B est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
5B	CH_4	-	-	56ème	0,3%

1.1.1.14 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).

1.1.1.15 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 dans l'Hexagone 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 2024. 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 l'Hexagone, faute de données disponibles pour les territoires ultramarins.

Tableau 288 : Quantité de déchets compostés entre France (Gg)

Catégorie	1990	2000	2010	2020	2024
Unité	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
Compostage industriel (Hexagone)	1 462	3 666	5 589	8 618	7 100
Compostage industriel (Outre-mer inclus dans l'UE)	8,3	20,7	109,4	164,8	161,5
Compostage domestique (Hexagone)	1 670	1 893	2 355	3 319	3391

Tableau 289 : Quantité de déchets méthanisés entre France (Gg)

Catégorie	1990	2000	2010	2020	2024
Unité	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
Déchets méthanisés (Hexagone)	33	90	251	915	412
Déchets méthanisés (Outre-mer inclus dans l'UE)	0	0	3,1	3,8	5,1

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 2024 (relative à l'année 2022). Ces deux études fournissent des informations sur la répartition entre compostage fermé ou à l'air libre pour 2006 et 2022. 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 2022.

Ces facteurs d'émission par type de déchets sont considérés identiques pour l'Hexagone et les Outre-mer. 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 290 : 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 pour 2024	3 537	2 615	2 615	2 615

Pour l'année 2024, il est considéré la répartition suivante : 42,4% de sites aérés et 57,6% 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 :

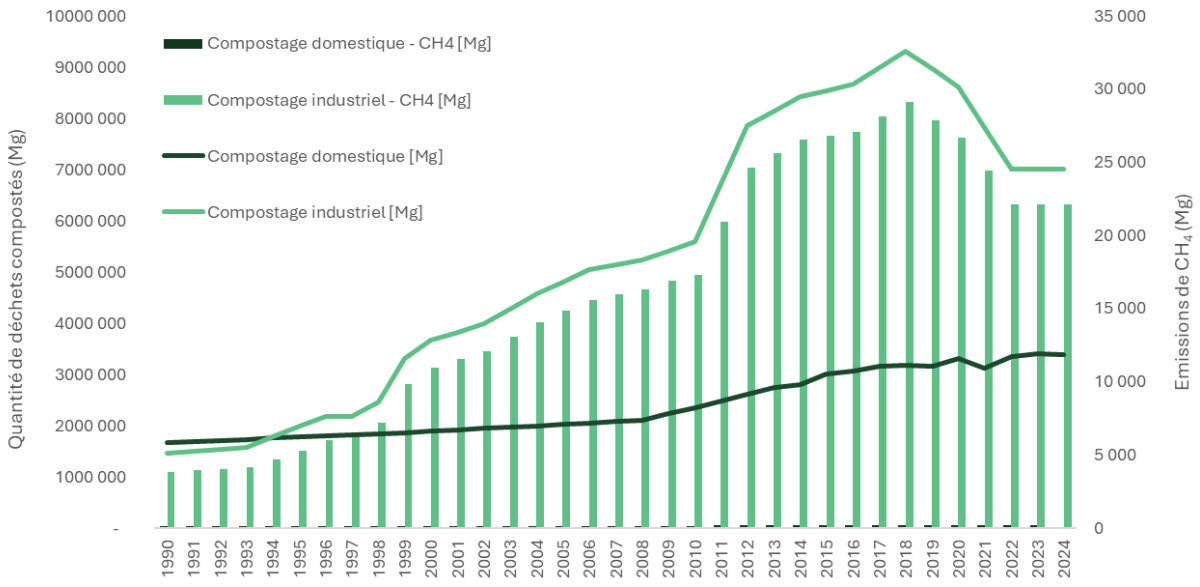
- Déchets verts : 58,8 %
- Ordures ménagères : 6,4 %
- Biodéchets : 5,7 %
- Boues et autres : 29,1 %

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 291 : Facteurs d'émission du méthane (mg CH_4/kg) du compostage domestique

Catégorie	Déchets verts	Déchets de cuisine
Unité	mg CH_4/kg	mg CH_4/kg
FE moyen	73	26

Figure 213 : 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 292 : 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 293 : 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 2024 (relative à l'année 2022). Ces deux études fournissent des informations sur la répartition entre compostage fermé ou à l'air libre pour 2006 et 2022. 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 2022.

Ces facteurs d'émission par type de déchets sont considérés identiques pour l'Hexagone et les Outre-mer. 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 294 : 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 pour 2024	51	78	78	78

Pour l'année 2024, il est considéré la répartition suivante : 42,4% de sites aérés et 57,6% 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 :

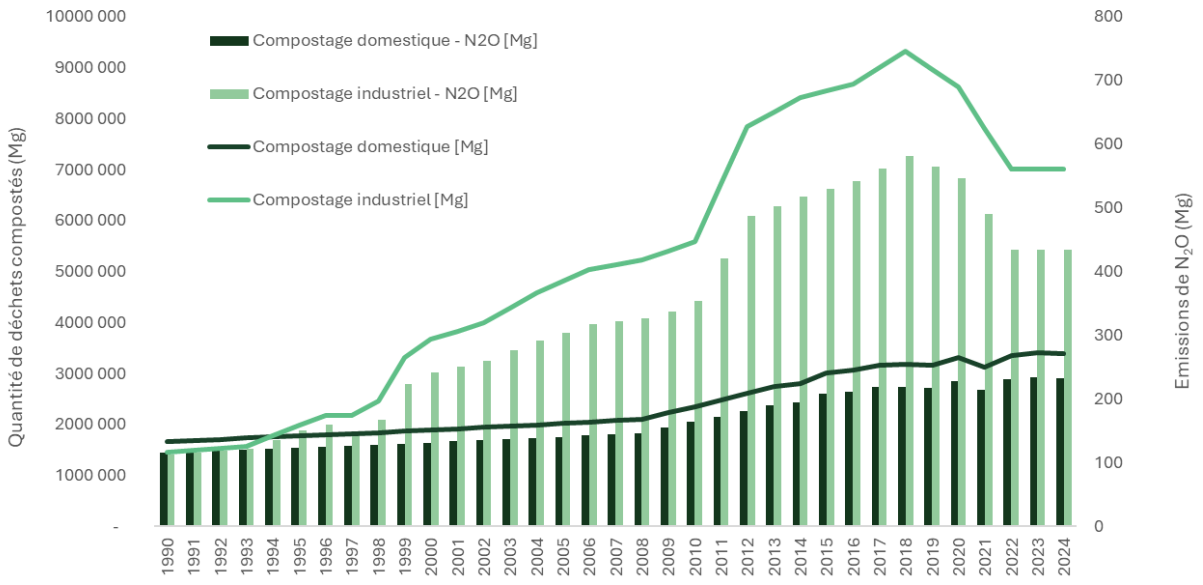
- Déchets verts : 58,8 %
- Ordures ménagères : 6,4 %
- Biodéchets : 5,7 %
- Boues et autres : 29,1 %

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 hexagonal.

Tableau 295 : Facteurs d'émission du protoxyde d'azote (mg N_2O/kg) du compostage domestique

Catégorie	Déchets verts	Déchets de cuisine
Unité	mg N_2O/kg	mg N_2O/kg
FE moyen	74	35

Figure 214 : 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 2024 sont basées sur les données 2022.
- 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	2024
Ancien	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	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	833	834	833
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+0.37	+0.80	+1.2	+833
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	+0%	+0%	+0%	-

Source Citepa / mars_2026 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

Concernant le compostage domestique, les données de population ont été mises à jour à la marge, entrainant une très légère évolution sur la période 2021 – 2024. En parallèle, la prise en compte du baromètre environnement de l'ADEME édition 2024 et de la dernière estimation du nombre de maisons principales (INSEE) ont été considérés. Ces éléments influent à la marge sur les émissions de sur les années 2021 à 2023.

Concernant les émissions liées à la méthanisation, la diminution des émissions de NH_3 observée entre 1990 et 2023 s'explique principalement par la légère révision de l'estimation des quantités d'effluents d'élevage méthanisés sur la période.

Raisons et justifications

Amélioration de l'exactitude et de la cohérence temporelle.

7.3.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue UE de 2025, 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	FR-5-2025-0002 5 Waste, CH4, 2021-2025	For CH4 from category 5B2 Anaerobic Digestion, the TERT noted that in response to a question raised during the review France explained that emissions from biogas production from waste are included in 5B2 applying the IPCC default 5% loss rate and that emissions from biogas production from manure are included in the agricultural sector. However, the TERT noted that the total French biogas production reported in CRT Table1.A(b) is larger than what would be expected from the emissions reported under agriculture and waste. The TERT therefore suspects that some contributions to the emissions from the total biogas production are not currently included. The TERT decided not to carry out a technical correction, because due to lack of data, a technical correction would not have improved the accuracy of the estimates. The TERT recommends that France include emissions from all biogas production in the next submission.	ESR review report 2025	The biogas production from anaerobic digester reported in CRT Table 1.A(b) comes from the French energy balance whereas emissions from both waste and livestock manure are calculated based on a bottom-up approach. We are currently exploring opportunities to estimate emissions from codigestates from farm biogas plant as well as comparing total biogas production from a bottom-up approach to the energy balance figure to comment on the discrepancy. The issue remains in our improvement plan for next submissions.

7.3.7 Améliorations envisagées

<u>Cas du compostage :</u>

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.

<u>Cas de la méthanisation :</u>

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 296 : Substances pour lesquelles le secteur 5C est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
5C	CO_2	40ème	0,3%	-	-

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

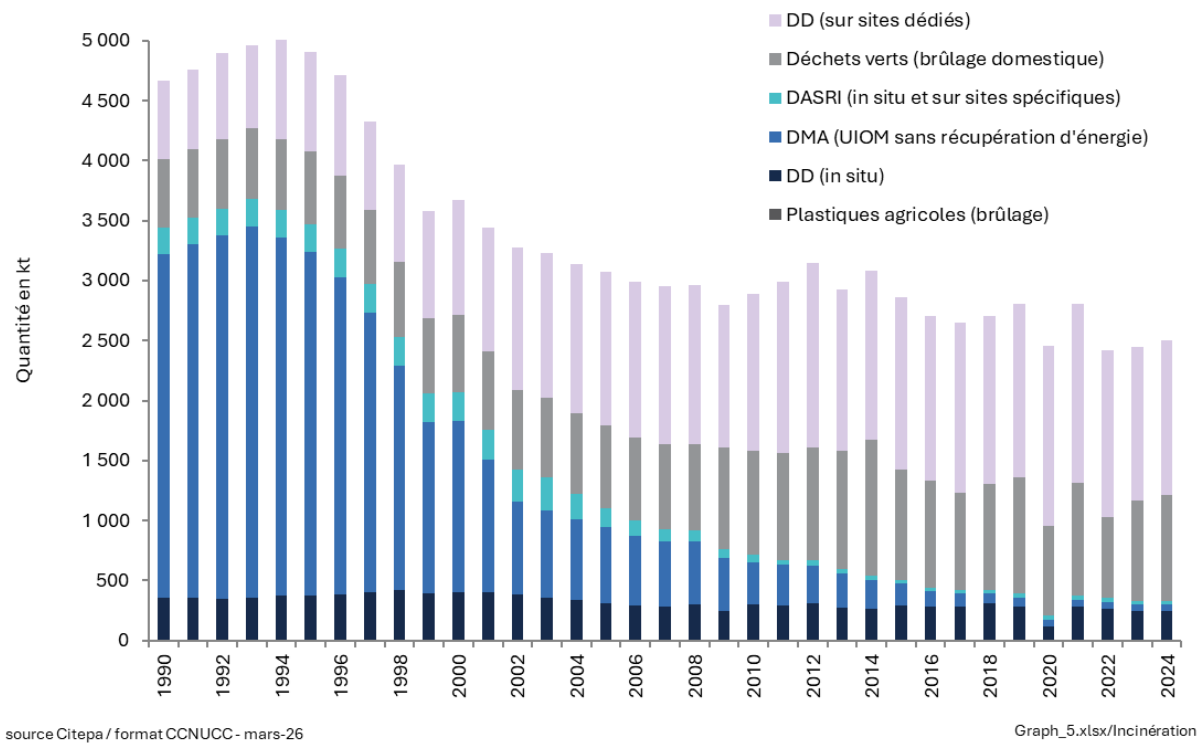
Bien que ce soient des activités illicites, plusieurs types de feux sont pratiqués en France et pris en compte dans l'inventaire national :

- feux de plastiques agricoles,
- feux de déchets verts domestiques,
- brûlage de câbles électriques.

En complément, les feux de véhicules et les feux de bâtiments 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 215 : 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

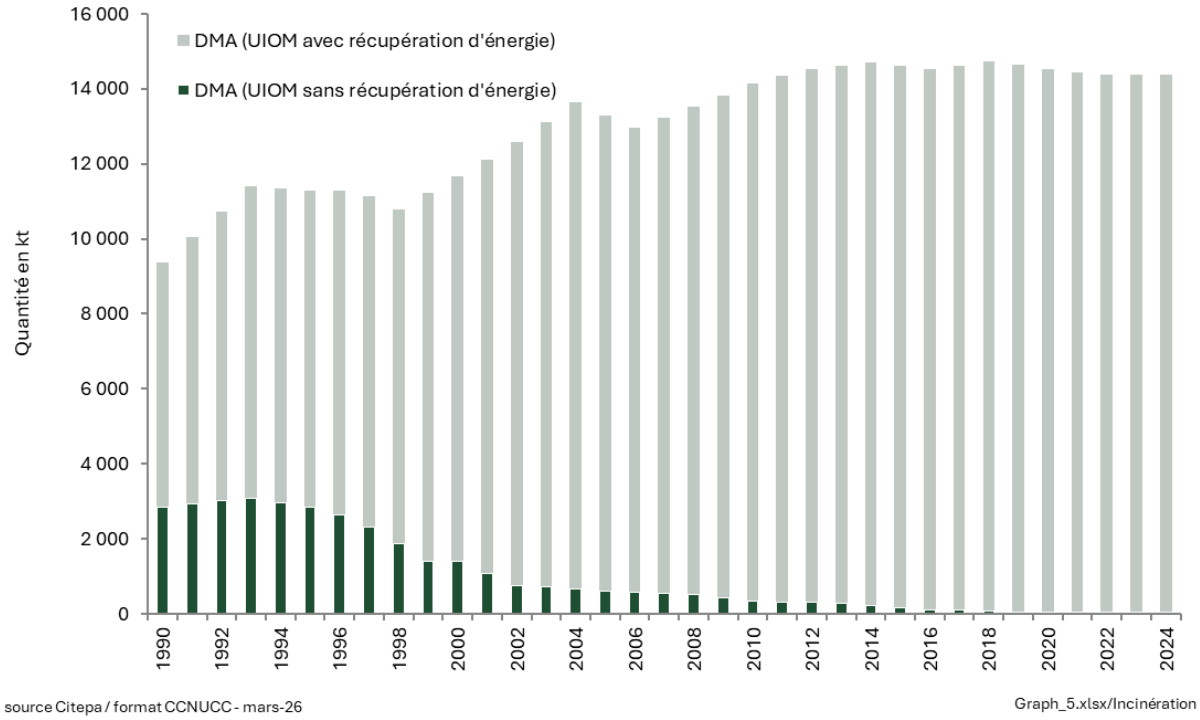
1.1.1.16 Incinération de déchets (5C1)

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 216 : Quantité de déchets (kt) non dangereux incinérés avec et sans récupération d'énergie (Hexagone et outre-mer inclus dans l'UE)

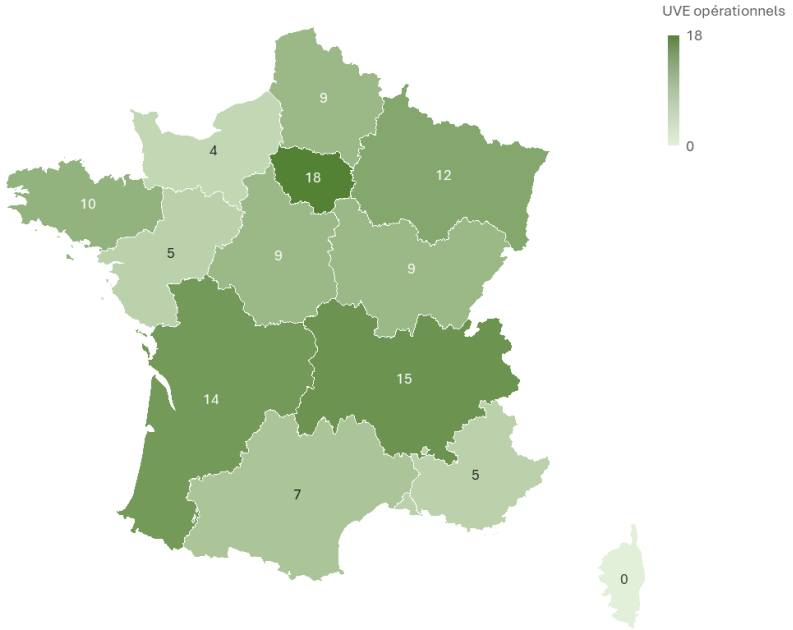


Données d'activité

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 dans l'Hexagone 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 le territoire hexagonal et ultramarin.

Figure 217 : 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 2024 :

- Epandage agricole (46,5 %),
- Compostage (41 %),
- Incinération en UIOM, STEP ou site dédié (10,9 %),
- Mise en décharge (0,2 %),
- Autres (1,5 %).

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.

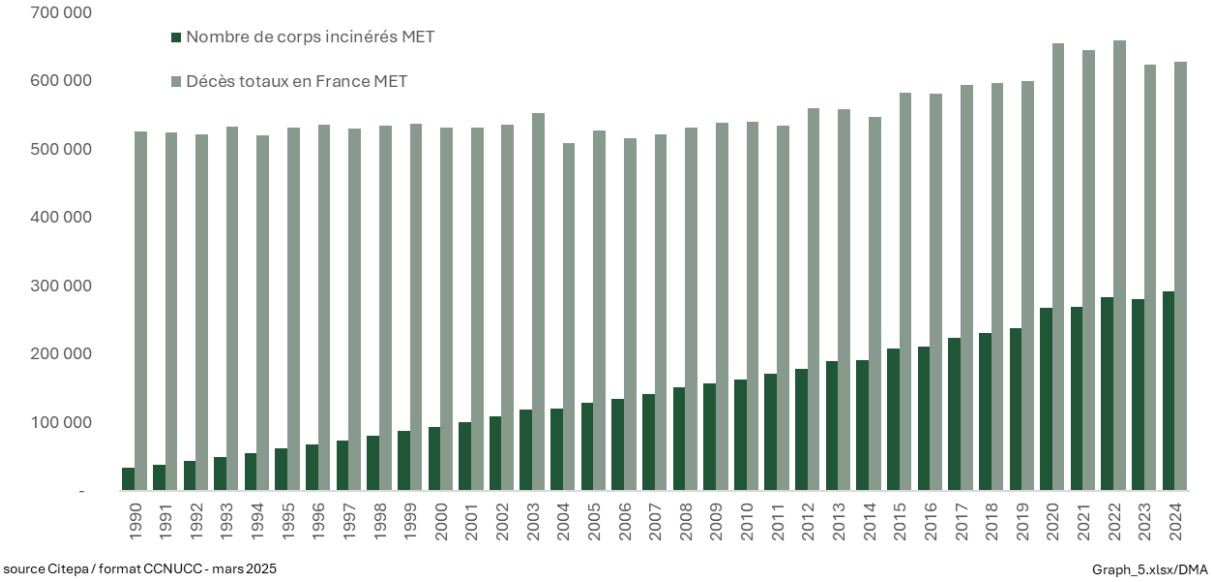
Incinération en UIDND ou en usine d'incinération de déchets industriels

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 218 : Evolution de la pratique de l'incinération en France (Hexagone)



1.1.1.17 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)

<u>Feux de véhicules</u>

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 2024 et concerne les incendies de 2023.[47]

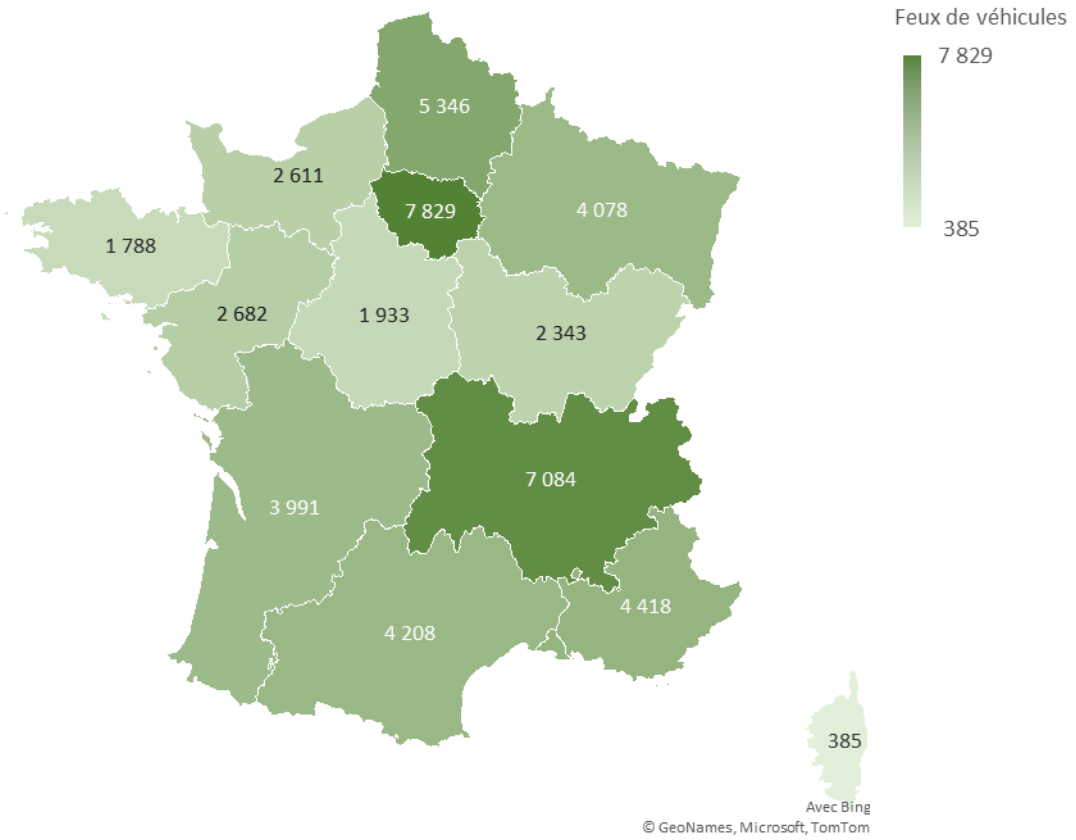
Il a donc été posé comme hypothèse que le nombre d'interventions correspond à un nombre de véhicules et que l'intégralité des matières combustibles du véhicule est brûlée comme dans le cas des essais menés par l'INERIS.

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 l'Hexagone et les DROM (Guadeloupe, Mayotte, la Réunion, la Martinique et la Guyane).

[47] Par conséquent, on fait l'hypothèse que le nombre d'incendies est similaire en 2023 et 2024.

Figure 219 : Répartition des feux de véhicules par catégorie en 2023



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/.

1.1.1.18 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 (CF), 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 (FCF).

$$CO_2\ Emissions = MSW * \sum_i (WFi * dmi * CFi * FCFi * OFi) * 44/12$$

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 le territoire hexagonal et ultramarin) réalisées par l'ADEME [32].

Tableau 297 : Composition des déchets incinérés en UIDND (y.c déchets industriels, hors boues) dans l'Hexagone

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%
2024	21.7%	5.2%	14.7%	11.5%	2.8%	9.9%	0.1%	31.4%	17.2%	0.5%	0.0%	2.1%

Les valeurs par défaut de contenu en carbone des déchets (CF) 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 le territoire hexagonal et ultramarin.

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 298 : 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*	*2024*
N_2O	98,4	98,4	58,7	24,3	8,8

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 dans l'Hexagone. 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 299 : Facteurs d'émission de CO_2 associés à l'incinération de déchets dangereux (kg CO_2/Mg de déchets)

kg/Mg	1990	2000	2010	2020	2024
CO_2	811,5	810,5	882,9	951,5	767,2

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 300 : Facteurs d'émission de CH_4 associés à l'incinération de déchets dangereux (g CH_4/Mg de déchets)

g/Mg	1990	2000	2010	2020	2024
CH_4	12,1	12,1	12,4	12,6	12,1

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 301 : Facteurs d'émission de N_2O associés à l'incinération de déchets dangereux (g N_2O/Mg de déchets)

g/Mg	1990	2000	2010	2020	2024
N_2O	96,8	99,2	37,4	11,0	14,4

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.

1.1.1.19 Feux ouverts de déchets (5C2)

Feux ouverts des déchets verts (5C2.1b)

Activité

Tableau 302 : Quantité de déchets verts gérés en gestion domestique (Hexagone et DOM) en Gg:

Tableau 303 : Part du brûlage dans la gestion domestique (Hexagone et DOM) en %

Tableau 304 : Quantité de déchets verts gérés en gestion domestique et brûlés (Hexagone) 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].

$$\boldsymbol{Emissions\ de\ CO_2b = MSW \times \sum_j \left(WF_j \times dm_j \times CF_j \times (1 - FCF_j) \times OF_j\right) \times \frac{44}{12}}$$

Où:

E. de CO_2b = émissions totales de CO_2 biogénique au cours de l'année d'inventaire, Gg CO_2b

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_2bio liées à l'incinération des seuls déchets verts, l'équation est simplifiée et n'inclus que les dm, CF et FCF 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_2b 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	2024
Ancien	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	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	1 763	1 478	1 374
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+0.64	+0.98	+4.0	+1 374
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	+0%	+0%	+0%	-

Source Citepa / mars_2026 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

<u>Incinération des déchets (5C1)</u>

Déchets non dangereux

Aucun recalcul en particulier n'est à justifier.

Déchets dangereux

Aucun recalcul en particulier n'est à justifier.

Boues d'épuration

Mise à jour de la quantité de boues par type d'usage pour 2023-2024.

Mise à jour de la population entre 2020 et 2023.

Déchets hospitaliers

Mise à jour des tonnages de DASRI incinérés pour l'année 2024.

La ligne dédiée aux DASRI du site de Créteil (GIDIC 006506498, Île-de-France – Val-de-Marne) a été définitivement arrêtée en janvier 2023. Depuis, la totalité des déchets précédemment traités sur ce site est redirigée vers la ligne Emeraude.

Par ailleurs, une forte baisse des tonnages est observée sur le site de Nouvelle-Aquitaine – Gironde, avec environ 6 400 Mg traités en 2023 contre 1 000 Mg en 2024.

En conséquence, les émissions associées à l'incinération des DASRI diminuent nettement en 2024 pour les GES.

<u>Feux ouverts de déchets (5C2)</u>

Déchets verts

Mise à jour des données de population sur 2021- 2024. En parallèle, mise à jour de la part du brûlage de déchets (%) en 2024 avec la dernière édition du baromètre environnement de l'ADEME.

Enfin, les émissions de CO_2bio 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 2023 avec la prise en compte de la dernière édition des statistiques des Services d'incendie et de secours (édition 2024). En parallèle, des données permettant une spatialisation des données ont été prises en compte. Par conséquent, une distinction des incendies entre l'Hexagone et DOM a été introduite.

Raisons et justifications

Amélioration de l'exactitude.

7.4.6 Améliorations envisagées

Pas d'amélioration prévue.

7.5 Traitement des eaux (5D)

7.5.1 Caractéristiques de la catégorie

Tableau 305 : Substances pour lesquelles le secteur 5D est source clé en 2024 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
5D	CH_4	32ème	0,5%	39ème	0,5%
5D	N_2O	27ème	0,7%	45ème	0,4%

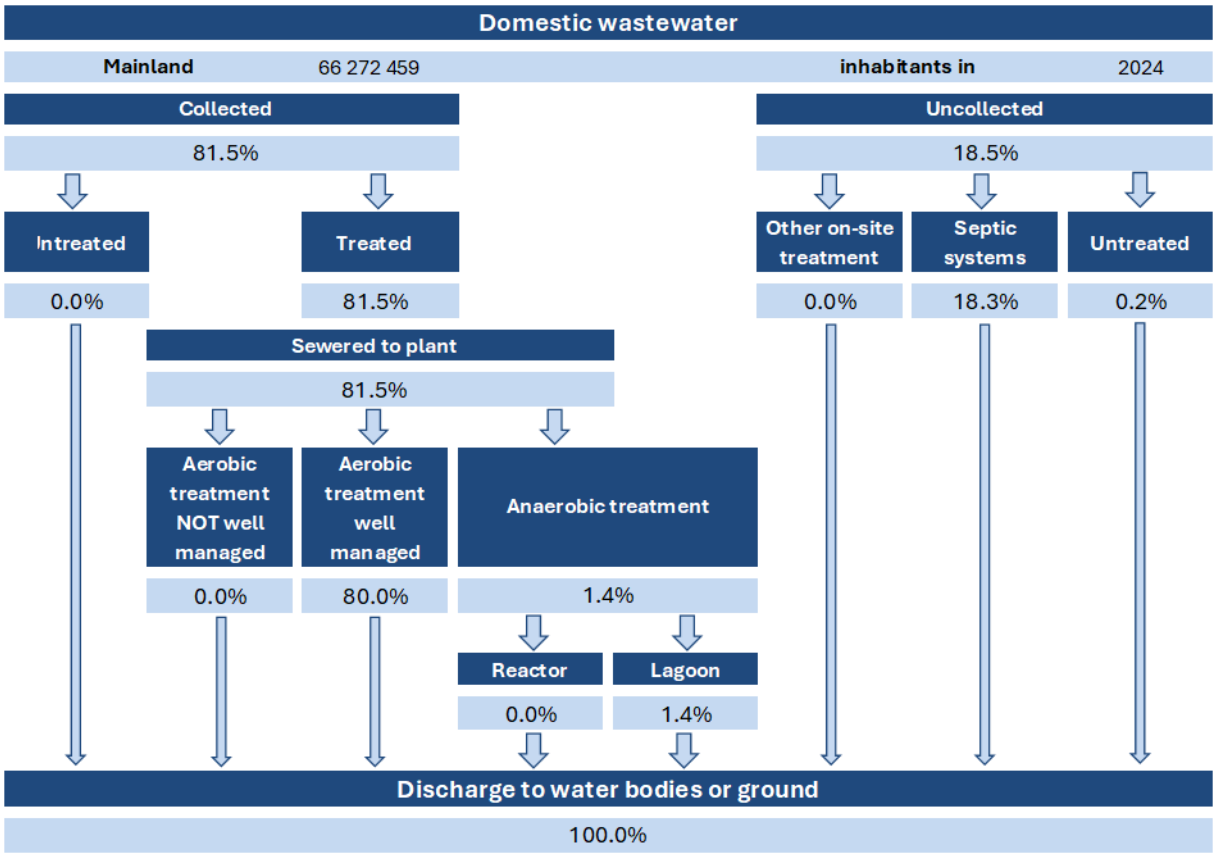
Les eaux usées résidentielles et les eaux usées industrielles sont abordées distinctement.

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 2024.

Figure 220 : Répartition de la population par type de traitement/rejet des eaux usées domestiques dans l'Hexagone en 2024



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.

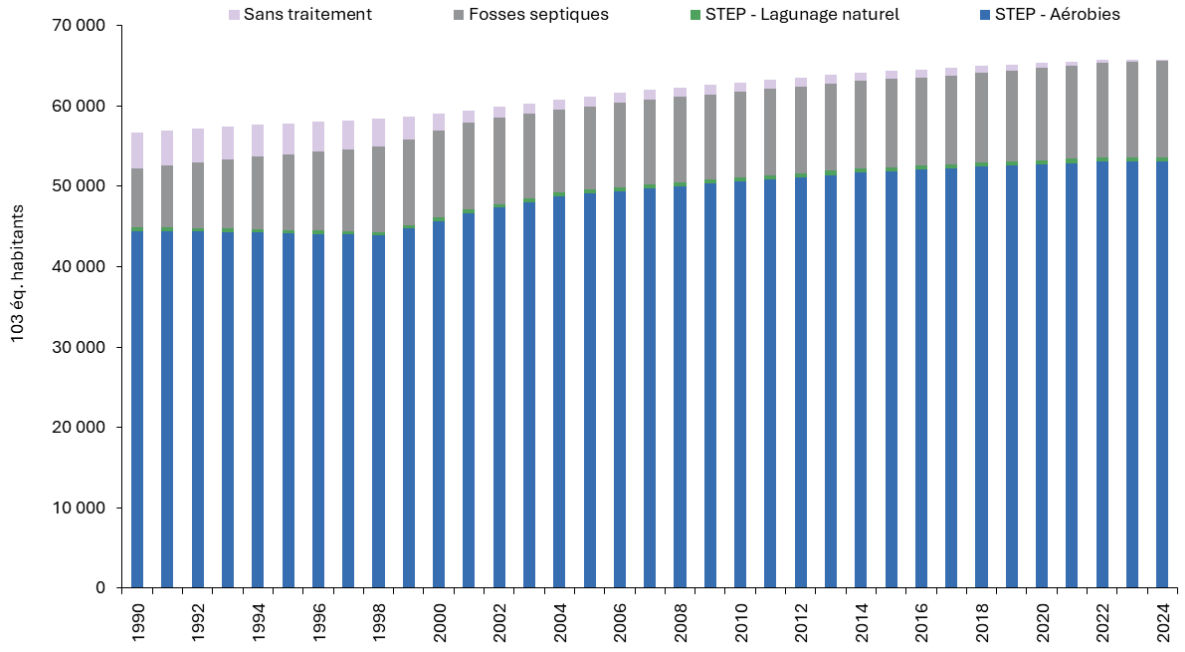
Le tableau suivant présente la part de la population pour les principaux types de traitement (STEU, fosses septiques et rejets directs) au cours du temps.

Tableau 306 : Répartition du type de traitement des eaux usées domestiques dans l'Hexagone

Année	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2024
Part de la population connectée à une STEU (%)	79	77	78	81	81	82	82	82
Part de la population connectée à une fosse septique (%)	13	16	18	17	17	17	17	18
Part de la population avec rejet direct (%)	8	7	4	2	2	1	1	0

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 221 : Pollution traitée par système dans l'Hexagone



source Citepa / format CCNUCC - mars-26

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 l'Hexagone 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 307 : Evolution de la consommation journalière de protéines d'un habitant

Année	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2024
Consommation en protéines (g/hab./jour) en France (Hexagone)	94,7	94,4	95,2	89,9	96,0	86,3	85,7	83,5
Consommation en protéines (g/hab./jour) en France (Outre-mer inclus dans l'UE)	65,1	69,0	69,2	72,8	81,7	75,8	77,9	77,88

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.

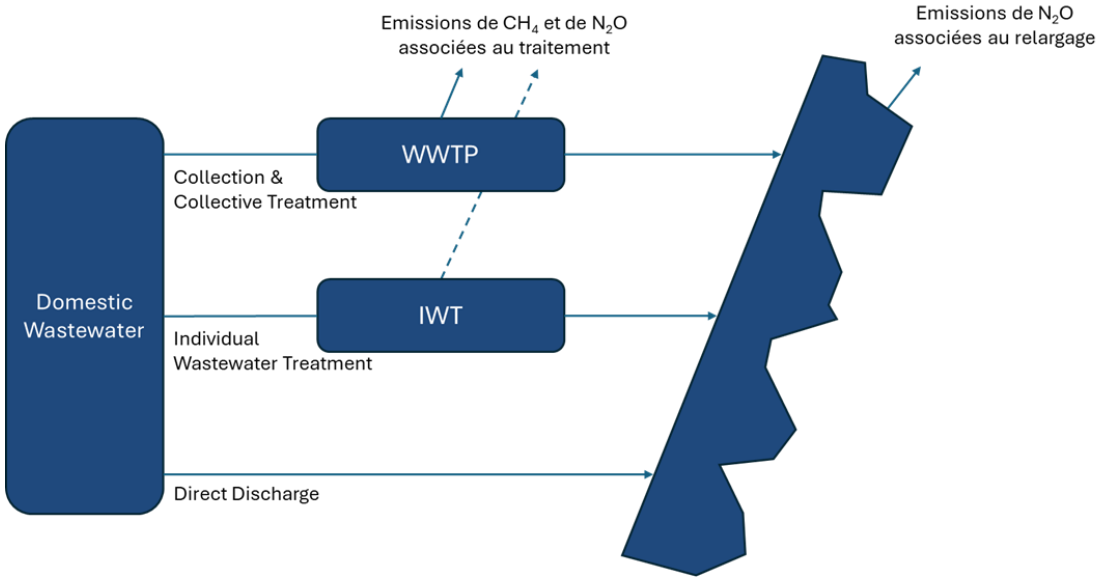
7.5.2 Méthode d'estimation des émissions

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 222 : 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 223 : 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) 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 hexagonale, 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.

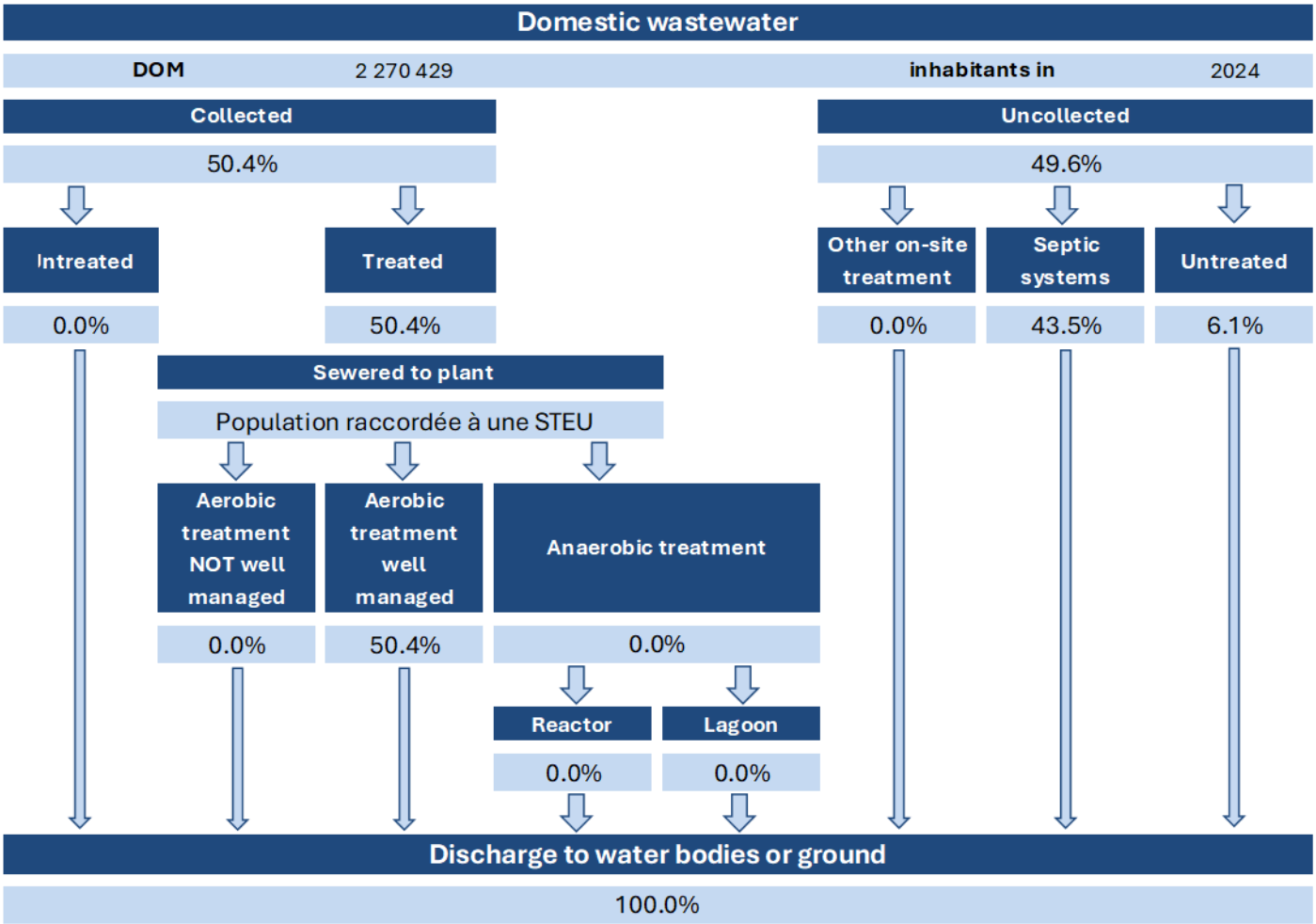
En France, les stations de type lagunage naturel ont une profondeur de l'ordre de 1 mètre [751]. La valeur par défaut proposée par les Lignes Directrices 2006 du GIEC [615] pour les lagunes peu profondes est appliquée (MCF = 0,2). Le facteur d'émission, correspondant à B_0 x MCF_j des stations d'épuration 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 224 : 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 hexagonale, 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 (18,3% de la population en 2024), et une faible part est rejetée dans le milieu naturel sans traitement (0,2% 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 hexagonale, 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 l'Hexagoneest 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 225 : 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) 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 2024, 21,2% 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 308 : Demande Chimique en Oxygène (DCO) des industries de l'agroalimentaire (IAA) traitée par lagunage naturel

Année	1990	2000	2010	2015	2020	2024
DCO des IAA traitées par lagunage naturel (Mg/an)	2 642	7 052	10 154	7 949	5 881	4 416

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 2024.

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).

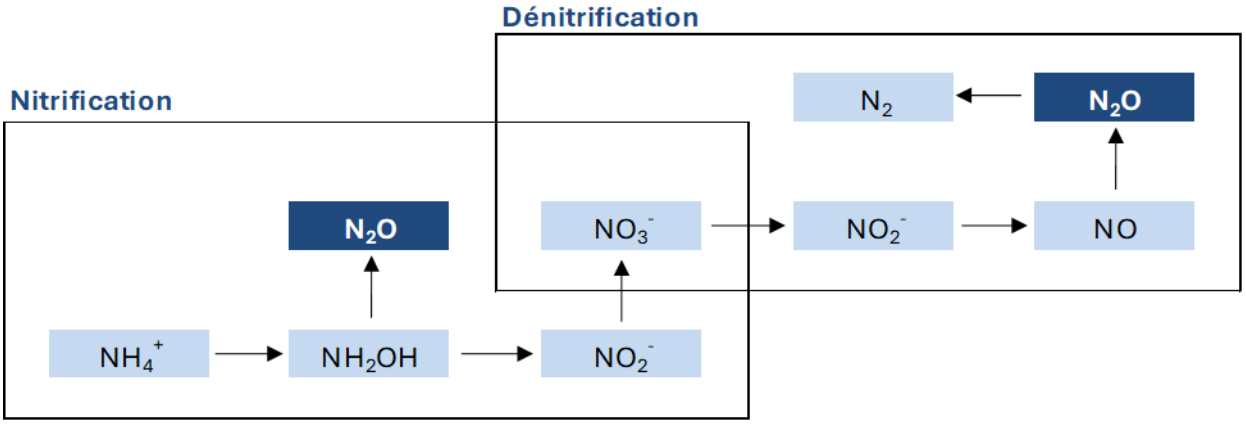
Tableau 309 : Quantité de boues méthanisées en STEU industrielles

Année	1990	2000	2010	2020	2024
Quantité de boues méthanisées (Gg de MS)	370,5	405,3	369,9	455,9	479,6

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 226 : 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 kgN_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 310 : Rejets d'azote des eaux industrielles vers des STEU (Mg N/an)

Année	1990	2000	2010	2015	2020	2024
Rejets d'azote des eaux usées industrielles vers des STEU (Mg N/an)	1 571	1 439	1 897	1 042	1 647	2 094

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 311 : Rejets d'azote des eaux industrielles vers les milieux naturels (Mg N/an)

Année	1990	2000	2010	2015	2020	2024
Rejets d'azote des eaux usées industrielles vers les milieux naturels (Mg N/an)	11 959	11 615	11 045	8 803	7 001	6 158

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	2024
Ancien	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	0
Nouveau	kt CO2e	3 612	3 943	4 220	4 210	4 486	4 479	4 385	4 308	4 259	4 338	4 337	4 378	4 419	4 329	4 315	4 353	4 366	4 262	4 306
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	+1.8	+1.9	+1.9	+1.9	+2.3	+2.4	+19	+34	+45	+15	+14	+2.2	+72	+34	+4 306
	%	0%	0%	0%	0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+1%	+1%	+0%	+0.32%	+0%	+2%	+1%	-

Source Citepa / mars_2026 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

Pour l'Hexagone, plusieurs mises à jour ont été intégrées pour l'année 2023 concernant le traitement des eaux usées. Elles portent notamment sur la quantité de boues issues du traitement en STEU, les rejets raccordés d'azote (N) suite à la révision du paramètre [P6], ainsi que les rejets de DCO et la part des rejets indirects liés aux industries agroalimentaires à la suite de la mise à jour du [P7]. Les rendements NKT et DCO des STEP ont également été actualisés (période 2016–2023) grâce à l'intégration de nouvelles données provenant de plusieurs Agences de l'eau (Loire-Bretagne, Seine-Normandie, Rhin-Meuse, Adour-Garonne, Rhône-Méditerranée-Corse). Par ailleurs, les données de population ont été révisées sur la période 2020–2023, tout comme la disponibilité en protéines (g/hab/jour) sur la série 2010–2023 à partir de FAO Stat. Enfin, certaines caractéristiques du parc de traitement ont été ajustées en 2023, notamment la répartition des capacités (légère baisse du lagunage, hausse des filtres plantés) ainsi que la part des installations équipées de dénitrification.

Pour les Outre-mer

Pour les départements d'outre-mer, plusieurs mises à jour ont été intégrées à partir de l'année 2022. Elles incluent l'intégration de l'enquête INSEE PRINC35D relative aux résidences principales (caractéristiques du bâti, mode d'évacuation des eaux usées et taille des ménages), avec un impact sur les années 2021 à 2024. Les données de population ont également été actualisées sur la période 2022–2024. Enfin, la disponibilité journalière en protéines (g/hab/jour) a été mise à jour à partir des données FAO Stat, avec un impact sur la série 2010–2023.

Raisons et justifications

Amélioration de l'exactitude.

7.5.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2025, 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	Waste (7.W.1, 2025) 5.D.1 Domestic wastewater – CH4	France identified in its NID CH4 emissions from category 5.D.1 domestic wastewater as a key category (level and trend). However, France used default EFs and parameters (Bo, MCF) to estimate CH4 emissions from category 5.D.1 domestic wastewater (NID, chap. 7.5.2, page 821). The TERT considers that this is not in line with the 2006 IPCC Guidelines and MPG paragraph 20, 21 and 23 regarding estimation of emissions for category 5.D.1, being a key category. The TERT noted that the Party did not clearly document why the methodological choice was not in line with the corresponding decision tree of the IPCC guidelines (vol. 5, chap. 6.2.2.1, fig. 6.2, p.6.10) and use country specific values for Bo and MCF for estimating CH4 emissions from 5.D.1. During the review, the Party provided additional information clarifying that it is aware of the absence of country-specific values for Bo or MCF for the relevant category, but has not identified any information that would support the development of such CS factors. The Party also indicated that there are currently no plans to develop country-specific emission factors for this category. The TERT recommends the Party to use methods from the IPCC guidelines in line with MPG 20 and 21and further explore the possibility of developing country-specific emission factors for this key category for future reporting, in order to improve the accuracy of the emission estimates. If the Party is unable to adopt a higher-tier method for the category, the TERT recommends the Party to clearly document why the methodological choice was not in line with the corresponding decision tree of the IPCC guidelines.	2025 Draft BTR review report	Not implemented yet. France acknowledges the TERT recommendation regarding the estimation of CH_4 emissions from category 5.D.1 (domestic wastewater), identified as a key category. For the current reporting period, CH_4 emissions continue to be estimated using default Bo and MCF values from the 2006 IPCC Guidelines, as no nationally representative data are currently available to support the development of country-specific parameters. In response to the recommendation, France plans to improve the transparency of the National Inventory Report (NIR) by more clearly documenting the application of the IPCC decision tree and the rationale for the continued use of default parameters in future submissions. France is currently unable to implement higher-tier methods or develop country-specific Bo and MCF values for domestic wastewater due to the lack of sufficient national data on wastewater treatment pathways and operating conditions required by the IPCC Guidelines. No studies or datasets are currently available that would allow the derivation of robust country-specific

				parameters for this category.
Waste	Waste (7.W.2, 2025) 5.D.2 Industrial wastewater – CH4	In the NID and CRT table 5.D, the Party reports CH4 emissions from the category 5.D.2 industrial wastewater. TERT identified significant inter-annual variability in the CH_4 implied emission factor (IEF) of industrial wastewater, while CH4 emission levels remained stable. Notable deviations in the CH4 IEF were observed between 2019 and 2020 (25.0%), 2020 and 2021 (16.0%), and 2021 and 2022 (34.5%), but the NID is not clarifying the reason for these deviations. During the review, the Party provided additional information clarifying that CH_4 emissions from category 5.D.2 are driven by three distinct sources: (i) anaerobic digestion of industrial sludge from industrial WWTPs, (ii) anaerobic digestion of industrial sludge from collective WWTPs, and (iii) water treatment in industrial WWTPs. The main contributor to the CH4 emissions is anaerobic digestion of industrial sludge from industrial WWTPs, which shows stable emissions over time. However, the TERT noted that the activity data reported in CRT Table 5.D reflects only the quantity of organic matter discharged into industrial water by the agri-food industry using natural lagooning, based on GEREP platform reporting. As this discharged organic load is decreasing, the IEF also decreases, although the emissions and activity data are not strongly correlated. The TERT recommends that the Party includes information in observed deviations in time series development for CH4 emissions from categories 5.D.2 for which substantial deviations in TS emissions are observed especially in recent years, in a transparent manner.	2025 Draft BTR review report	Not implemented yet. We will add explanations in future submissions. France acknowledges the TERT recommendation regarding the inter-annual variability observed in the implied emission factors (IEF) for CH_4 emissions from category 5.D.2 (industrial wastewater). As clarified during the review, CH_4 emissions are mainly driven by anaerobic digestion of industrial sludge, which remains relatively stable over time, while the activity data reported in CRT Table 5.D reflects a decreasing organic load from specific industrial processes. France plans to enhance the transparency of the National Inventory Report (NIR) by including additional explanations of the observed deviations in the CH_4 time series and IEF development for this category in future submissions. The variability observed in the implied emission factors is primarily due to differences between the activity data reported in the CRT and the main processes driving CH_4 emissions from industrial wastewater. The National Inventory Report (NIR) did not previously provide a detailed explanation of

				this relationship, which has been identified as a documentation issue rather than a methodological or data-related issue. Lack of time.

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 C3H8, 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 et le HFO-1233zd sont principalement utilisés en remplacement des HFC dans les chillers. L'utilisation du R-1234ze 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 91 tonnes en 2024 ;
- Les émissions de propane sont également en constante augmentation mais à degré moindre, passant de 0 en 2005 à 46 tonnes en 2024, l'extension de son utilisation, dans les équipements de climatisation notamment étant limité du fait de sa forte inflammabilité ;
- Les émissions de HFO-1234yf sont en forte augmentation, du fait de la transformation du parc de climatisation automobile, passant de 0 t en 2013 à 805 tonnes en 2024 ;
- Les émissions de HFO-1234ze sont en augmentation, passant de 0 t en 2013 à 70 tonnes en 2024.

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	2023
Ancien	kt CO2e	1 659	1 504	1 532	1 248	1 000	977	885	884	917	827	821	866	815	804	830	786	856	800
Nouveau	kt CO2e	1 657	1 502	1 531	1 247	998	977	884	884	917	826	821	863	815	802	831	769	811	786
Différence	kt CO2e	-1.5	-1.1	-1.0	-0.81	-1.8	+0.045	-1.1	-0.45	-0.19	-1.0	+0.41	-2.7	-0.41	-2.2	+1.7	-17	-45	-14
	%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	+0%	-0%	-0%	-0%	-0%	+0%	-0%	-0%	-0%	+0%	-2%	-5%	-2%

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 à des recalculs dans la catégorie 2D3- 4 (Oxydateur de COVNM et l'utilisation d'urée) du fait de l'actualisation pour un grand nombre d'installations réalisant des PGS de la technique d'abattement des COV utilisée.

-

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 2026 comparés au NID 2025.

Tableau 312 : 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) for heat autoproducers (NAF35) - revisions of the national energy balance: - Natural gas consumption increase in 2022, - Coal consumption revised to be null in 2023.
2. Manufacturing industries and construction	x	x	1A2 (section 3.2.6) • Update of the national energy balance: - Strong increase in biogas, particularly in recent years, following alignment with the balance for autoproducers, impacting the tertiary and industrial sectors. - Increase in LPG use over 2011–2023. - Increase in diesel consumption for construction for 2011-2023 (transfer from tertiary 1A4a). - Significant increase in NG consumptions for autoproducers (transfer from tertiary 1A4a) for 1990-2023. - Change in allocations of NG and process gas between 1A2c and 2B for hydrogen and carbon black productions (see section for CRT 2B) • Update of CH_4 and N_2O emission factors for biomass, now estimated using the IPCC Tier 2 methodology.

3. Transport	x	x	1A3 (section 3.2.7): Overall, only **minor** changes between inventory editions for transport emissions across all GHGs. Main updates include: • 1A3d Maritime: correction to the methodology for estimating the share of fuel sales for domestic routes. • 1A3b Road transport (section): updated traffic data, inclusion of unit fuel consumption for foreign vehicles, revised energy balance methodology, and updated N_2O emission factors for Euro VI NGV heavy-duty vehicles and Euro 5 two-wheelers. • 1A3a Aviation (section): updates of traffic data, some fuel consumption coefficients and kerosene sales data.
4. Other sector		x	1A4 (section 3.2.8): • Update of the national energy balance: - Significant intersectoral reallocations of domestic fuel oil/diesel consumption: sharp decrease in the tertiary sector, offset by increases in the residential in 2022/2023, agriculture, and construction sectors, resulting in a limited impact at the national level. - 1A4a and 1A4c: Increase in LPG use over 2013–2023 (+120 to +330 kt CO_2), mainly in the tertiary sector, and in 2023 for agriculture. - 1A4b: Natural gas consumption update: sharp decrease in 2018 (−800 kt CO_2), moderate decreases in 2019-2021, and increases in 2022/2023 (+450 to +580 kt CO_2). • Residential wood burning: increase in the number of older appliances and higher consumption in 2021–2023, leading to a +15% increase in CH_4 emissions in 2023.
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	x	x	2B (section 4.3): • Methodological change implemented for carbon black production (2B8f): Emissions from natural gas combustion are now reported under 1A2c, while emissions from process gas in carbon black production are reported under 2B8f, in line with IPCC guidelines. • The methodology for hydrogen production emissions was revised: all emissions from natural gas used in steam reformers are now reported under 2B10 instead of being partly allocated to 1A2c
C. Metal industry			
D. Non-energy products from fuels and solvent use			

E. Electronic industry			
F. Product uses as substitutes for ODS	x	x	2F (section 4.7): Assumptions for commercial refrigeration were revised after consultations with industry stakeholders, revealing that the expected conversion of installations to R-404A and the reduction in its use had been overestimated.
G. Other product manufacture and use			
H. Other			
3. Agriculture			
A. Enteric fermentation			
B. Manure management			
C. Rice cultivation			
D. Agricultural soils	x	x	3D (section 5.5): N_2O emissions in category 3D1a: • Revision of the method used to estimate the N_2O emission factor (refined spatial allocation to better account for different fertilizer types) • In addition, revisions to UNIFA survey data (activity data) from 2014 onward
E. Prescribed burning of savannahs			
F. Field burning of agricultural residues			
G. Liming			
H. Urea application		x	3H (section 5.6): Revisions to UNIFA survey data (activity data)
I. Other carbon containing fertilisers			
J. Other			
4. Land use, land-use change and forestry			
A. Forest land	x	x	4A (section 6.4) New estimate added in French Guiana for living biomass changes (previously the undisturbed forest were under equilibrium hypothesis) and modification of calculation for deadwood in mainland.
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			
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'Environnement.

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).

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 2023 (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 2025 et celle de mars 2026. 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 2025). 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 2026 donnent globalement au périmètre France UE :

- Pour les émissions de CO_2 hors UTCATF, des écarts négligeables de +0,2 % en 1990 et -0.2 % en 2023 sont observés. Avec l'UTCATF, les recalculs sont plus importants, avec -0,8% en 1990 et -1.7 % en 2023, notamment en lien avec l'ajout d'un puits de carbone sur les forêts non perturbées en Guyane, précédemment considérées à l'équilibre.
- Pour le CH_4, les émissions en CO_2e varient faiblement de +0,1 % en 1990 et +0.4 % en 2023 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 plus marquées, avec -1.0% en 1990 et +5.6 % en 2023, dues à l'ajustement de la méthode pour estimer le facteur d'émission N2O de l'utilisation des engrais minéraux(CRT 3D1).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 significativement (+12 %) en 2023, du fait de la révision des hypothèses des fluides frigorigènes utilisés en froid commercial (CRT 2F1).Il n'y a pas de recalcul lié aux émissions de PFC en 1990, ni en 2023.
- ➢ Les variations sur les émissions de SF_6 sont de -0.5% en 1990 et de -1,4 % en 2023, dues à la mise à jour des données d'activité pour différents processus : équipements électriques pour la production, transport et distribution d'électricité, fabrication de chaussures, ainsi que certaines activités confidentielles (CRT 2G1, 2G2, 2E1).
- ➢ Il n'y a pas de recalcul lié aux émissions de NF_3 en 1990, ni en 2023.
- ➢ Au total, les émissions exprimées en CO_2 équivalent hors UTCATF sont corrigées de +0.1 % en 1990 et de 0.6 % en 2023. Ces corrections sont inversées avec l'UTCATF inclus avec -0.6% en 1990 et -0.4% en 2023.

Tableau 313 : 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 2026 — serre/comp-méth.xlsx

Substance	Unité	année 1990		année 2023		1990	2023
		Version mars 2025	Version mars 2026	Version mars 2025	Version mars 2026	écart entre les deux versions	
CO_2 hors UTCATF[c]	Mt	400	401	305	304	0.2%	-0.2%
(dont CO_2 indirect)							
CO_2 net[a]	Mt	375	372	269	265	-0.8%	-1.7%
CH_4 hors UTCATF[c]	kt	2 924	2 926	2 199	2 207	0.1%	0.4%
CH_4 net[a]	kt	2 947	2 950	2 226	2 239	0.1%	0.6%
N_2O hors UTCATF[c]	kt	203	201	102	108	-1.0%	5.6%
N_2O net[a]	kt	211	209	105	111	-0.9%	5.8%
HFC	Mt CO_2e	4.2	4.2	9.2	10.3	0.0%	12.0%
PFC	Mt CO_2e	4.7	4.7	0.3	0.3	0.0%	0.0%
SF_6	t	95	95	20	20	-0.5%	-1.4%
NF_3	t	1.0	1.0	0.8	0.8	0.0%	0.0%
CO_2e hors UTCATF[b][c]	Mt CO_2e	547	547	403	406	0.1%	0.6%
CO_2e net[a][b]	Mt CO_2e	524	521	369	368	-0.6%	-0.4%

(*) 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 2023		1990	2023
	Version mars 2025	Version mars 2026	Version mars 2025	Version mars 2026	écart entre les deux versions	
Population (1000 hab.)[e]	58 248	58 248	68 058	67 899	0.0%	-0.2%
PIB (10^9 € courants)[e]	1 053	1 044	2 635	2 508	-0.8%	-4.8%

(e) source INSEE

(f) France hexagonale 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 2023, les observations suivantes sont émises :

- Dans cette nouvelle édition, de 1990 à 2023, les évolutions des émissions nettes exprimées en CO_2 sont similaires aux anciennes tendances (-24,0 % actuellement vs -23,7 % dans l'édition précédente),
- Les évolutions des HFCs enregistrent un changement significatif entre les deux éditions : l'évolution est actuellement de +143 % alors qu'elle était de +117 % dans l'édition précédente, en lien avec la révision des hypothèses prises sur les fluides frigorigènes utilisés en froid commercial.
- Les évolutions des émissions nettes de N_2O diffèrent de plus de 3% par rapport aux anciennes tendances (-46,6 % actuellement vs -50.0 % dans l'édition précédente)
- Les changements sont assez faibles pour le CH_4 et le SF_6, et sont nulles pour les PFC et le NF_3,
- Au total, l'évolution des émissions exprimées en CO_2 équivalent hors UTCATF entre 1990 et 2023 varient de -26,2 % dans l'édition précédente à -25,8 % pour l'édition 2026, alors que l'évolution des émissions UTCATF inclus varient de -29,5 % dans l'édition passée à -29,4 % pour cette édition.

Tableau 314 : Écart en évolution entre la version de mars 2024 et celle de mars 2025 - périmètre France UE

EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE
(périmètre UE[f])

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 — serre/comp-méth.xlsx

Substance	Ecart /1990	
	Version mars 2025	Version mars 2026
CO_2 hors UTCATF[c]	-23.7%	-24.0%
(dont CO_2 indirect)		
CO_2 net[a]	-28.1%	-28.8%
CH_4 hors	-24.8%	-24.6%
CH_4 net[a]	-24.4%	-24.1%
N_2O hors	-49.7%	-46.3%
N_2O net[a]	-50.0%	-46.6%
HFC	116.7%	142.7%
PFC	-93.1%	-93.1%
SF_6	-79.0%	-79.2%
NF_3	-15.8%	-15.8%
CO_2e hors	-26.2%	-25.8%
CO_2e net[a][b]	-29.5%	-29.4%

(*) 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 hexagonale 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 315 : Suivi des améliorations méthodologiques envisagées sur les inventaires

Action	SECTEUR	Modifications / améliorations envisagées	GES	déc-25	déc-26
G-2		Travail transversal sur les émissions de ML et de PM pour les plus gros émetteurs	-	X	X
G-14		Prise en compte du dernier guide EMEP / EEA	-	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
G-17		Investigations H2S (en principe dans Sox). Vérifier si H2S algues vertes considérées anthropogéniques; sources H2S dans guide EMEP/EEA ...	-	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
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
1-21	Transport routier	Amélioration routier : suivi évolution guide EMEP/EEA et/ou COPERT, etc.	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
1-38	Maritime	MAJ des répartitions des consommations domestiques/internationales	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
1-60	Aérien	Amélioration continue TARMAAC avec la DGAC	X	X	X
1-69	Fluvial	Améliorations du transport fluvial : prise en compte du parc réel...	X	X	X
1-72	Extraction de pétrole	Améliorer le niveau de la méthodologie avec des FE spécifique France	X	X	x
1-76	Combustion PIC-MIC	Prise en compte des arrêtés combustion des PIC et MIC, en particulier NOx, PM...	-	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). - Prise en compte des consommations de GNL et de de lubrifiants.	X	X	X
1.80	FE SOx des PP	Affiner les facteurs d'émissions SO2 des PP à partir de mesures	-		
1.83	RA2019 Fugitif	Passage au raffinement 2019 des LD GIEC 2006 pour le secteur Fugitif		X	X

1.84	Energie - Combustion fixe	Prise en compte des granulés dans les petites chaufferies biomasse			
1.85	Manutention & stockage combustible	Manutention et stockage des combustibles liquides autres que l'essence, hormis les terminaux pétroliers - Emissions de COVNM		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)
2-46	PM BTP	Suite revue NECD 2019, besoin de révision des FE PM du BTP	-	X	X
2-47	Equipements électriques	Améliorations des estimation de SF6 de la fin de vie des équipements électriques.	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
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
2-63	Consommations de bitume	Actualisation de la répartition des consommations de bitume (Asphalt roofing, Route et Enrobage)	-	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
2-71	N2O anesthésie	Investigation pour passer au GIEC avec quantités de N2O utilisées.	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
2-75	Froid commercial	Correction de la banque de R-404A en froid commercial (2F1a)"		x	
2-76	HAP & ML soufflage bitume	Intégration des émissions liées au soufflage du bitume du guide EMEP/EEA suite à demandes de la revue		x	
	AGRICULTURE				
4-2	Brûlages agricoles	Recherche de données d'activité afin de prendre en compte différentes formes de brûlage agricoles .	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
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)
4-21	Pesticides	Possibilité de réaliser un inventaire des émissions de pesticides dans l'air	-	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)
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
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
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
04-33	Urée avec inhibiteurs d'uréase	Suivi des livraisons d'urée avec inhibiteurs d'uréase.	X	X	X

04-35	FE EMEP 2023 agriculture	Mise à jour des facteurs d'émission agriculture selon le guide EMEP 2023		x	
	UTCATF				
5-1	DOMCOM	Amélioration de la méthodologie pour le suivi UTCATF dans les DOM	x CO_2	X	X
05-mars	Suivi des terres	Mise à jour du suivi des terres : préparation de l'après TERUTI (pas d'enquête 2016...)	x CO2	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
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
5-12	Bilan forêt – Cinétique bois mort	Suite au GT forêt du 20/06/2018, il a été proposé de tester l'application d'une cinétique d'ordre 1 pour le bois mort en forêt.	x CO2		
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
5-17	Zones humides	Affinement des émissions des zones humides	X	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
5-21	Sols minéraux	Possibilités d'amélioration des estimations actuelles de carbone des sols minéraux	X	X	X
05-24	Produits bois	Affinement / améliorations des données sources utilisées pour le bilan des produits bois.	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
05-26	Feux de forêt	Affinement des émissions des feux, spatialisation	X	X	X
	DECHETS				
6-12b	Feux accidentels /batiments	Suite à la revue NECD 2017, les émissions 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
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
6-21	Statistiques	Travail commun avec le SDES sur les statistiques du traitement des déchets par filière.	X	X	X
6-27	Traitement des eaux/N2O des procédés	Suite GT ASTEE : il y a des émissions de N2O venant de procédés de traitement (boues activées, filtres plantés etc.) alors qu'ils ne sont pas prévus dans les LD2006. Il y a des élements de FE dans le supplémént 2013 (constructed wetlands) et dans les études IRSTEA, et GIEC 2019.	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
6-40	Incinération des boues d'épuration	Les FE utilisés sont très anciens et pourraient être remis en cause Une révision de la série temporelle est nécessaire	-	X	X
6-47	Incinération des déchets hospitaliers	Conformité EMEP/EEA du FE HCB de l'incinération des déchets hospitaliers	-	X	X

6-51	Stockage déchets	Amélioration des données d'activités ISDND par confrontation base ITOM avec GEREP.	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 316 : Evaluation des catégories clés en 2024 – analyse des niveaux d'émissions hors UTCATF – Tier 1

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 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	2024	2024	2024
1	1A3b	Road Transportation	CO2	114 051	114 401	31%	31,2%
2	3A	Enteric Fermentation	CH4	46 779	36 545	10%	41%
3	1A4b	Residential / gas	CO2	21 064	19 503	5,3%	46%
4	3D1	Direct N2O emissions from managed soils	N2O	17 566	14 379	3,9%	50%
5	5A	Solid Waste Disposal	CH4	12 457	11 425	3,1%	53,5%
6	1A4a	Commercial/Institutional / gas	CO2	7 993	10 913	3,0%	56%
7	1A4c	Agriculture/Forestry/Fishing / oil	CO2	10 905	10 599	2,9%	59%
8	1A4b	Residential / oil	CO2	30 915	10 458	2,8%	62%
9	1A2g	Manufacturing Industries / Other	CO2	11 558	8 322	2,3%	64%
10	2F1	Refrigeration and Air Conditioning	HFC	0	7 764	2,1%	67%
11	2C1	Iron and Steel Production	CO2	15 789	7 506	2,0%	69%
12	1A1a	Public Electricity and Heat Production / gas	CO2	970	7 172	2,0%	71%
13	1A1a	Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO2	2 557	7 073	1,9%	72%
14	3B	Manure Management	CH4	6 800	6 398	1,7%	74%
15	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO2	3 459	5 726	1,6%	76%
16	2A1	Cement Production	CO2	10 937	5 303	1,4%	77%
17	3D2	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	5 242	4 407	1,2%	78%
18	1A3a	Domestic Aviation	CO2	3 631	4 203	1,1%	80%
19	1A1b	Petroleum Refining / oil	CO2	11 413	4 085	1,1%	81%
20	1A2c	Chemicals / gas	CO2	5 789	3 837	1,0%	82%
21	1A2f	Non-metallic minerals / gas	CO2	3 446	3 553	1,0%	83%
22	1A1a	Public Electricity and Heat Production / coal	CO2	37 412	3 496	1,0%	84%
23	1A1a	Public Electricity and Heat Production / oil	CO2	8 209	3 376	0,9%	85%
24	2B8	Petrochemical and carbon black production	CO2	4 036	2 737	0,7%	85%
25	3B	Manure Management	N2O	3 855	2 729	0,7%	86%
26	1A4a	Commercial/Institutional / oil	CO2	16 555	2 544	0,7%	87%
27	5D	Wastewater treatment and discharge	N2O	2 299	2 392	0,7%	87%
28	1A5a	Other stationary	CO2	4 464	2 119	0,6%	88%
29	1A4b	Residential / biomass	CH4	4 764	1 958	0,5%	89%
30	2B10	Chemical Industry / Other	CO2	1 259	1 943	0,5%	89%
31	1A2f	Non-metallic minerals / oil	CO2	6 508	1 936	0,5%	90%
32	5D	Wastewater treatment and discharge	CH4	1 313	1 914	0,5%	90%
33	2A2	Lime Production	CO2	2 712	1 782	0,5%	91%
34	1A1c	Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coa	CO2	4 054	1 744	0,5%	91%
35	1A3d	Domestic navigation	CO2	2 955	1 713	0,5%	92%
36	1A2d	Pulp, Paper and Print / gas	CO2	2 071	1 662	0,5%	92%
37	1A2a	Iron and Steel / gas	CO2	2 788	1 614	0,4%	92%
38	1A2a	Iron and Steel / coal	CO2	4 253	1 496	0,4%	93%
39	1A2c	Chemicals / oil	CO2	4 871	1 479	0,4%	93%
40	5C	Incineration and open burning of waste	CO2	2 110	1 235	0,3%	94%
41	1B2a	Fugitive Emissions from Fuels / Oil	CO2	2 983	1 222	0,3%	94%
42	3H	Urea application	CO2	865	1 196	0,3%	94%
43	1A1b	Petroleum Refining / gas	CO2	36	1 171	0,3%	95%
44	2B1	Ammonia Production	CO2	3 056	1 147	0,3%	95%
45	1A3b	Road Transportation	N2O	839	1 133	0,3%	95%
	...	...	...	...	...	...	...
	Total (*)			**546 945**	**367 018**		

(*) Analyse hors UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)

Tableau 317 : Evaluation des catégories clés en 1990 – analyse des niveaux d'émissions hors UTCATF – Tier 1

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 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 (%)
	CRT	Libellé		1990	1990	1990
1	1A3b	Road Transportation	CO2	114 051	20,9%	21%
2	3A	Enteric Fermentation	CH4	46 779	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	17 566	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%	59%
11	1A2g	Manufacturing Industries / Other	CO2	11 558	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	7 993	1,5%	71%
17	3B	Manure Management	CH4	6 800	1,2%	72%
18	1A2f	Non-metallic minerals / oil	CO2	6 508	1,2%	73%
19	1A2c	Chemicals / gas	CO2	5 789	1,1%	74%
20	1B1a	Coal Mining and handling	CH4	5 354	1,0%	75%
21	2B2	Nitric Acid Production	N2O	5 274	1,0%	76%
22	3D2	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	5 242	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%	80%
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	4 036	0,7%	83%
31	3B	Manure Management	N2O	3 855	0,7%	84%
32	1A3a	Domestic Aviation	CO2	3 631	0,7%	85%
33	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO2	3 459	0,6%	85%
34	1A2f	Non-metallic minerals / gas	CO2	3 446	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%	88%
39	1A3d	Domestic navigation	CO2	2 955	0,5%	89%
40	1A2a	Iron and Steel / gas	CO2	2 788	0,5%	89%
41	2A2	Lime Production	CO2	2 712	0,5%	90%
42	1A1a	Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO2	2 557	0,5%	90%
43	2B4	Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production	N2O	2 384	0,4%	91%
44	5D	Wastewater treatment and discharge	N2O	2 299	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	2 071	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	1 657	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	2C2	Ferroalloys Production	CO2	1 262	0,2%	95%
	...	...	...	...	...	...
	Total (*)			**546 945**		

(*) Analyse hors UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)

Tableau 318 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2024 – analyse des évolutions des émissions hors UTCATF – Tier 1

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 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 (%)
		Libellé		1990	2024			2024
1	1A3b	Road Transportation	CO2	114 051	114 401	0,069	18,3%	18%
2	1A1a	Public Electricity and Heat Production / coal	CO2	37 412	3 496	0,040	10,4%	29%
3	1A4b	Residential / oil	CO2	30 915	10 458	0,019	5,0%	34%
4	1A4a	Commercial/Institutional / oil	CO2	16 555	2 544	0,016	4,1%	38%
5	2B3	Adipic Acid Production	N2O	12 656	7	0,016	4,1%	42%
6	2F1	Refrigeration and Air Conditioning	HFC	0	7 764	0,014	3,7%	46%
7	1A1a	Public Electricity and Heat Production / gas	CO2	970	7 172	0,012	3,1%	49%
8	1A4a	Commercial/Institutional / gas	CO2	7 993	10 913	0,010	2,7%	51%
9	1A4b	Residential / gas	CO2	21 064	19 503	0,010	2,6%	54%
10	1A1a	Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO2	2 557	7 073	0,010	2,6%	57%
11	3A	Enteric Fermentation	CH4	46 779	36 545	0,009	2,5%	59%
12	1B1a	Coal Mining and handling	CH4	5 354	2	0,007	1,7%	61%
13	1A1b	Petroleum Refining / oil	CO2	11 413	4 084,7	0,007	1,7%	63%
14	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO2	3 459	5 726	0,006	1,6%	64%
15	2B2	Nitric Acid Production	N2O	5 274	146	0,006	1,6%	66%
16	1A4c	Agriculture/Forestry/Fishing / oil	CO2	10 905	10 599	0,006	1,6%	67%
17	2C1	Iron and Steel Production	CO2	15 789	7 506	0,006	1,5%	69%
18	5A	Solid Waste Disposal	CH4	12 457	11 425	0,006	1,5%	70%
19	2B9	Fluorochemical production	HFC	4 202	12	0,005	1,4%	72%
20	3D1	Direct N2O emissions from managed soils	N2O	17 566	14 379	0,005	1,2%	73%
21	1A2f	Non-metallic minerals / coal	CO2	4 769	659	0,005	1,2%	74%
22	1A2f	Non-metallic minerals / oil	CO2	6 508	1 936	0,004	1,2%	75%
23	1A1a	Public Electricity and Heat Production / oil	CO2	8 209	3 376	0,004	1,0%	76%
24	2C3	Aluminium Production	PFC	3 211	30	0,004	1,0%	77%
25	2A1	Cement Production	CO2	10 937	5 303	0,004	1,0%	78%
26	3B	Manure Management	CH4	6 800	6 398	0,003	0,9%	79%
27	1A2c	Chemicals / oil	CO2	4 871	1 479	0,003	0,9%	80%
28	1A3a	Domestic Aviation	CO2	3 631	4 203	0,003	0,9%	81%
29	2B4	Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production	N2O	2 384	24	0,003	0,8%	82%
30	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco / oil	CO2	3 156	615	0,003	0,7%	83%
31	1A2a	Iron and Steel / coal	CO2	4 253	1 496	0,002	0,7%	83%
32	1A4a	Commercial/Institutional / coal	CO2	2 078	117	0,002	0,6%	84%
33	1A2f	Non-metallic minerals / gas	CO2	3 446	3 553	0,002	0,6%	84%
34	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco / coal	CO2	2 053	139	0,002	0,6%	85%
35	1A4b	Residential / biomass	CH4	4 764	1 958	0,002	0,6%	86%
36	1A4b	Residential / coal	CO2	1 957	80	0,002	0,6%	86%
37	1A1b	Petroleum Refining / gas	CO2	36	1 171	0,002	0,6%	87%
38	2B10	Chemical Industry / Other	CO2	1 259	1 943	0,002	0,5%	87%
39	5D	Wastewater treatment and discharge	CH4	1 313	1 914	0,002	0,5%	88%
40	1A2a	Iron and Steel / oil	CO2	1 725	134	0,002	0,5%	88%
41	1A1c	Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries /	CO2	4 054	1 744	0,002	0,5%	89%
42	2B1	Ammonia Production	CO2	3 056	1 147	0,002	0,4%	89%
43	3D2	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	5 242	4 407	0,002	0,4%	90%
44	1A5a	Other stationary	CO2	4 464	2 119	0,002	0,4%	90%
45	5D	Wastewater treatment and discharge	N2O	2 299	2 392	0,002	0,4%	90%
46	1A2d	Pulp, Paper and Print / oil	CO2	1 386	119	0,001	0,4%	91%
47	1A2f	Non-metallic minerals / other fossil fuels	CO2	340	1 010	0,001	0,4%	91%
48	1B2a	Fugitive Emissions from Fuels / Oil	CO2	2 983	1 222	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	770	0,001	0,3%	93%
52	1A2c	Chemicals / other fossil fuels	CO2	405	909	0,001	0,3%	93%
53	1A3b	Road Transportation	CH4	1 143	137	0,001	0,3%	93%
54	1A2b	Non-Ferrous Metals / coal	CO2	942	5	0,001	0,3%	93%
55	3H	Urea application	CO2	865	1 196	0,001	0,3%	94%
56	5B	Biological treatment of solid waste	CH4	112	654	0,001	0,3%	94%
57	1A3b	Road Transportation	N2O	839	1 133	0,001	0,3%	94%
		Manufacturing Industries / Other	CO2	11 558	8 322,3	0,001	0,3%	95%
		Aerosols	HFC	0	541	0,001	0,3%	95%
60	1B2b	Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CO2	818	20	0,001	0,3%	95%
		...	...	...	...	...	...	...
	Total (*)			**546 945**	**367 018**			

(*) Analyse hors UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)

TIER 1 – Analyse avec UTCATF

Tableau 319 : Évaluation des catégories clés 2024 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 1

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 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	2024	2024	2024
1	1A3b	Road Transportation	CO2	114 051	114 401	25,1%	25%
2	4A1	Forest Land remaining Forest Land	CO2	32 427	49 227	10,8%	36%
3	3A	Enteric Fermentation	CH4	46 779	36 545	8,0%	44%
4	1A4b	Residential / gas	CO2	21 064	19 503	4,3%	48%
5	4A2	Land converted to Forest Land	CO2	19 645	15 097	3,3%	51%
6	3D1	Direct N2O emissions from managed soils	N2O	17 566	14 379	3,2%	55%
7	5A	Solid Waste Disposal	CH4	12 457	11 425	2,5%	57%
8	4B2	Land converted to Cropland	CO2	23 309	11 182	2,5%	60%
9	1A4a	Commercial/Institutional / gas	CO2	7 993	10 913	2,4%	62%
10	1A4c	Agriculture/Forestry/Fishing / oil	CO2	10 905	10 599	2,3%	64%
11	1A4b	Residential / oil	CO2	30 915	10 458	2,3%	67%
12	1A2g	Manufacturing Industries / Other	CO2	11 558	8 322	1,8%	68%
13	2F1	Refrigeration and Air Conditioning	HFC	0	7 764	1,7%	70%
14	2C1	Iron and Steel Production	CO2	15 789	7 506	1,6%	72%
15	1A1a	Public Electricity and Heat Production / gas	CO2	970	7 172	1,6%	73%
16	1A1a	Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO2	2 557	7 073	1,5%	75%
17	4E	Settlements	CO2	6 679	6 612	1,4%	76%
18	3B	Manure Management	CH4	6 800	6 398	1,4%	78%
19	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO2	3 459	5 726	1,3%	79%
20	2A1	Cement Production	CO2	10 937	5 303	1,2%	80%
21	3D2	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	5 242	4 407	1,0%	81%
22	1A3a	Domestic Aviation	CO2	3 631	4 203	0,9%	82%
23	1A1b	Petroleum Refining / oil	CO2	11 413	4 085	0,9%	83%
24	1A2c	Chemicals / gas	CO2	5 789	3 837	0,8%	84%
25	1A2f	Non-metallic minerals / gas	CO2	3 446	3 553	0,8%	85%
26	1A1a	Public Electricity and Heat Production / coal	CO2	37 412	3 496	0,8%	85%
27	1A1a	Public Electricity and Heat Production / oil	CO2	8 209	3 376	0,7%	86%
28	2B8	Petrochemical and carbon black production	CO2	4 036	2 737	0,6%	87%
29	4B1	Cropland remaining Cropland	CO2	1 509	2 732	0,6%	87%
30	3B	Manure Management	N2O	3 855	2 729	0,6%	88%
31	1A4a	Commercial/Institutional / oil	CO2	16 555	2 544	0,6%	88%
32	5D	Wastewater treatment and discharge	N2O	2 299	2 392	0,5%	89%
33	1A5a	Other stationary	CO2	4 464	2 119	0,5%	89%
34	1A4b	Residential / biomass	CH4	4 764	1 958	0,4%	90%
35	2B10	Chemical Industry / Other	CO2	1 259	1 943	0,4%	90%
36	1A2f	Non-metallic minerals / oil	CO2	6 508	1 936	0,4%	91%
37	5D	Wastewater treatment and discharge	CH4	1 313	1 914	0,4%	91%
38	2A2	Lime Production	CO2	2 712	1 782	0,4%	91%
39	1A1c	Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal	CO2	4 054	1 744	0,4%	92%
40	1A3d	Domestic navigation	CO2	2 955	1 713	0,4%	92%
41	1A2d	Pulp, Paper and Print / gas	CO2	2 071	1 662	0,4%	93%
42	1A2a	Iron and Steel / gas	CO2	2 788	1 614	0,4%	93%
43	1A2a	Iron and Steel / coal	CO2	4 253	1 496	0,3%	93%
44	1A2c	Chemicals / oil	CO2	4 871	1 479	0,3%	94%
45	5C	Incineration and open burning of waste	CO2	2 110	1 235	0,3%	94%
46	1B2a	Fugitive Emissions from Fuels / Oil	CO2	2 983	1 222	0,3%	94%
47	3H	Urea application	CO2	865	1 196	0,3%	94%
48	1A1b	Petroleum Refining / gas	CO2	36	1 171	0,3%	95%
49	2B1	Ammonia Production	CO2	3 056	1 147	0,3%	95%
50	1A3b	Road Transportation	N2O	839	1 133	0,2%	95%
	...	...	...	...	...	...	...

(*) Analyse avec UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)

Tableau 320 : Évaluation des catégories clés 1990 – analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF – Tier 1

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 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 (%)
	CRT	Libellé		1990	1990	1990
1	1A3b	Road Transportation	CO2	114 051	17,7%	18%
2	3A	Enteric Fermentation	CH4	46 779	7,3%	25%
3	1A1a	Public Electricity and Heat Production / coal	CO2	37 412	5,8%	31%
4	4A1	Forest Land remaining Forest Land	CO2	32 427	5,0%	36%
5	1A4b	Residential / oil	CO2	30 915	4,8%	41%
6	4B2	Land converted to Cropland	CO2	23 309	3,6%	44%
7	1A4b	Residential / gas	CO2	21 064	3,3%	48%
8	4A2	Land converted to Forest Land	CO2	19 645	3,1%	51%
9	3D1	Direct N2O emissions from managed soils	N2O	17 566	2,7%	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	1,9%	62%
14	1A2g	Manufacturing Industries / Other	CO2	11 558	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	7 993	1,2%	72%
20	3B	Manure Management	CH4	6 800	1,1%	73%
21	4E	Settlements	CO2	6 679	1,0%	74%
22	1A2f	Non-metallic minerals / oil	CO2	6 508	1,0%	75%
23	1A2c	Chemicals / gas	CO2	5 789	0,9%	76%
24	1B1a	Coal Mining and handling	CH4	5 354	0,8%	77%
25	2B2	Nitric Acid Production	N2O	5 274	0,8%	77%
26	3D2	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	5 242	0,8%	78%
27	1A2c	Chemicals / oil	CO2	4 871	0,8%	79%
28	1A2f	Non-metallic minerals / coal	CO2	4 769	0,7%	80%
29	1A4b	Residential / biomass	CH4	4 764	0,7%	80%
30	4G	Harvested wood products	CO2	4 669	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	4 036	0,6%	84%
36	3B	Manure Management	N2O	3 855	0,6%	85%
37	4C2	Land converted to Grassland	CO2	3 702	0,6%	86%
38	1A3a	Domestic Aviation	CO2	3 631	0,6%	86%
39	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO2	3 459	0,5%	87%
40	1A2f	Non-metallic minerals / gas	CO2	3 446	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	1A3d	Domestic navigation	CO2	2 955	0,5%	90%
46	1A2a	Iron and Steel / gas	CO2	2 788	0,4%	90%
47	2A2	Lime Production	CO2	2 712	0,4%	90%
48	1A1a	Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO2	2 557	0,4%	91%
49	2B4	Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production	N2O	2 384	0,4%	91%
50	5D	Wastewater treatment and discharge	N2O	2 299	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	2 071	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	0,00	Indirect CO2	CO2	1 657	0,3%	94%
60	4B2	Land converted to Cropland	N2O	1 628	0,3%	95%
61	4B1	Cropland remaining Cropland	CO2	1 509	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 321 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2024 – analyse des évolutions des émissions avec UTCATF – Tier1

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2026 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 (%)
	CRT	Libellé		1990	1990	1990
1	1A3b	Road Transportation	CO2	114 051	17,7%	18%
2	3A	Enteric Fermentation	CH4	46 779	7,3%	25%
3	1A1a	Public Electricity and Heat Production / coal	CO2	37 412	5,8%	31%
4	4A1	Forest Land remaining Forest Land	CO2	32 427	5,0%	36%
5	1A4b	Residential / oil	CO2	30 915	4,8%	41%
6	4B2	Land converted to Cropland	CO2	23 309	3,6%	44%
7	1A4b	Residential / gas	CO2	21 064	3,3%	48%
8	4A2	Land converted to Forest Land	CO2	19 645	3,1%	51%
9	3D1	Direct N2O emissions from managed soils	N2O	17 566	2,7%	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	1,9%	62%
14	1A2g	Manufacturing Industries / Other	CO2	11 558	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	7 993	1,2%	72%
20	3B	Manure Management	CH4	6 800	1,1%	73%
21	4E	Settlements	CO2	6 679	1,0%	74%
22	1A2f	Non-metallic minerals / oil	CO2	6 508	1,0%	75%
23	1A2c	Chemicals / gas	CO2	5 789	0,9%	76%
24	1B1a	Coal Mining and handling	CH4	5 354	0,8%	77%
25	2B2	Nitric Acid Production	N2O	5 274	0,8%	77%
26	3D2	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	5 242	0,8%	78%
27	1A2c	Chemicals / oil	CO2	4 871	0,8%	79%
28	1A2f	Non-metallic minerals / coal	CO2	4 769	0,7%	80%
29	1A4b	Residential / biomass	CH4	4 764	0,7%	80%
30	4G	Harvested wood products	CO2	4 669	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	4 036	0,6%	84%
36	3B	Manure Management	N2O	3 855	0,6%	85%
37	4C2	Land converted to Grassland	CO2	3 702	0,6%	86%
38	1A3a	Domestic Aviation	CO2	3 631	0,6%	86%
39	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO2	3 459	0,5%	87%
40	1A2f	Non-metallic minerals / gas	CO2	3 446	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	1A3d	Domestic navigation	CO2	2 955	0,5%	90%
46	1A2a	Iron and Steel / gas	CO2	2 788	0,4%	90%
47	2A2	Lime Production	CO2	2 712	0,4%	90%
48	1A1a	Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO2	2 557	0,4%	91%
49	2B4	Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production	N2O	2 384	0,4%	91%
50	5D	Wastewater treatment and discharge	N2O	2 299	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	2 071	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	0,00	Indirect CO2	CO2	1 657	0,3%	94%
60	4B2	Land converted to Cropland	N2O	1 628	0,3%	95%
61	4B1	Cropland remaining Cropland	CO2	1 509	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)

TIER 2 – Analyse avec UTCATF

Tableau 322 : Évaluation des catégories clés 2024 – 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 2026 — 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 2024 kt CO2e	|Emissions| 2024 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	11 425	11 425	176	20	19,7	1	7
4A1	Forest Land remaining Forest Land	CO2	-49 227	49 227	18	8,7	28,4	2	2
3D2	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	4 407	4 407	191	8,3	36,6	3	21
4A2	Land converted to Forest Land	CO2	-15 097	15 097	51	7,5	44,2	4	5
3D1	Direct N2O emissions from managed soils	N2O	14 379	14 379	41	5,8	49,9	5	6
3A	Enteric Fermentation	CH4	36 545	36 545	16	5,7	55,6	6	3
4B2	Land converted to Cropland	CO2	11 182	11 182	41	4,5	60,1	7	8
3B	Manure Management	N2O	2 729	2 729	150	4,0	64,1	8	30
4B1	Cropland remaining Cropland	CO2	2 732	2 732	100	2,7	66,8	9	29
5D	Wastewater treatment and discharge	N2O	2 392	2 392	106	2,5	69,3	10	32
1A3b	Road transportation	CO2	114 401	114 401	2,2	2,4	71,7	11	1
2F1	Refrigeration and Air Conditioning	HFC	7 764	7 764	28	2,2	73,9	12	13
4E	Settlements	CO2	6 612	6 612	32	2,1	75,9	13	17
5D	Wastewater treatment and discharge	CH4	1 914	1 914	106	2,0	77,9	14	37
1A4b	Residential / biomass	CH4	1 958	1 958	100	1,9	79,8	15	34
3B	Manure Management	CH4	6 398	6 398	30	1,9	81,7	16	18
2C1	Iron and Steel Production	CO2	7 506	7 506	14	1,0	82,8	17	14
1A4b	Residential / gas	CO2	19 503	19 503	5,4	1,0	83,8	18	4
1A4c	Agriculture/forestry/fishing / oil	N2O	854	854	100	0,84	84,7	19	
4D2	Land converted to Wetlands	CO2	1 111	1 111	72	0,78	85,4	20	
5B	Biological treatment of solid waste	CH4	654	654	101	0,65	86,1	21	
1B2b	Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CH4	631	631	100	0,62	86,7	22	
1A4a	Commercial/institutional / gas	CO2	10 913	10 913	5,4	0,58	87,3	23	9
1A4c	Agriculture/forestry/fishing / oil	CO2	10 599	10 599	5,4	0,56	87,8	24	10
1A4b	Residential / oil	CO2	10 458	10 458	5,4	0,55	88,4	25	11
4C1	Grassland remaining Grassland	CO2	-562	562	100	0,55	88,9	26	
1A2g	Manufacturing Industries / Other	CO2	8 322	8 322	6,7	0,55	89,5	27	12
1A2g	Manufacturing Industries / Other	N2O	528	528	100	0,52	90,0	28	
2A1	Cement production	CO2	5 303	5 303	9,1	0,47	90,5	29	20
4B2	Land converted to Cropland	N2O	451	451	100	0,44	90,9		
***	***	***	***	***					
Total (*)			325 837						

(*) 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 323 : 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 2026							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	17,1	1	13
4A2	Land converted to Forest Land	CO2	-19 645	19 645	51	7,8	24,9	2	8
3D2	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	5 242	5 242	191	7,8	32,7	3	26
4B2	Land converted to Cropland	CO2	23 309	23 309	41	7,5	40,2	4	6
3A	Enteric Fermentation	CH4	46 779	46 779	16	5,8	46,0	5	2
3D1	Direct N2O emissions from managed soils	N2O	17 566	17 566	41	5,6	51,6	6	9
4A1	Forest Land remaining Forest Land	CO2	-32 427	32 427	18	4,6	56,2	7	4
3B	Manure Management	N2O	3 855	3 855	150	4,5	60,7	8	36
1A4b	Residential / biomass	CH4	4 764	4 764	100	3,7	64,4	9	29
4G	Harvested Wood Products	CO2	-4 669	4 669	100	3,7	68,1	10	30
1A3b	Road transportation	CO2	114 051	114 051	2,2	1,9	70,0	11	1
2C1	Iron and Steel Production	CO2	15 789	15 789	14	1,7	71,7	12	11
4E	Settlements	CO2	6 679	6 679	32	1,7	73,4	13	21
3B	Manure Management	CH4	6 800	6 800	30	1,6	75,0	14	20
4C2	Land converted to Grassland	CO2	-3 702	3 702	51	1,5	76,5	15	37
1B2b	Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CH4	1 703	1 703	100	1,3	77,8	16	58
1A4b	Residential / oil	CO2	30 915	30 915	5,4	1,3	79,1	17	5
4B2	Land converted to Cropland	N2O	1 628	1 628	100	1,3	80,4	18	60
4B1	Cropland remaining Cropland	CO2	1 509	1 509	100	1,2	81,6	19	61
1A4b	Residential / gas	CO2	21 064	21 064	5,4	0,89	82,5	20	7
2A1	Cement production	CO2	10 937	10 937	9,1	0,77	83,2	21	16
2B3	Adipic Acid Production	N2O	12 656	12 656	7,5	0,74	84,0	22	12
1A4a	Commercial/institutional / oil	CO2	16 555	16 555	5,4	0,70	84,7	23	10
4C1	Grassland remaining Grassland	CO2	-885	885	100	0,69	85,4	24	
1A1a	Public electricity and heat production / coal	CO2	37 412	37 412	2,2	0,65	86,0	25	3
1A4c	Agriculture/forestry/fishing / oil	N2O	816	816	100	0,64	86,7	26	
1A2g	Manufacturing Industries / Other	CO2	11 558	11 558	6,7	0,61	87,3	27	14
	Indirect CO2	CO2	1 657	1 657	43	0,55	87,8	28	59
1B1a	Coal mining and handling	CH4	5 354	5 354	11	0,47	88,3	29	24
1A3d	Domestic navigation	CO2	2 955	2 955	20	0,46	88,8	30	45
1A4c	Agriculture/forestry/fishing / oil	CO2	10 905	10 905	5,4	0,46	89,2	31	17
1A4a	Commercial/institutional / gas	CO2	7 993	7 993	5,4	0,34	89,5	32	19
2B9	Fluorochemical production	HFC	4 202	4 202	10	0,33	89,9	33	33
2B2	Nitric Acid Production	N2O	5 274	5 274	7,5	0,31	90,2	34	25
2C3	Aluminium Production	PFC	3 211	3 211	12	0,31	90,5		41
***	***	***	***	***					
Total (*)			520 897						

(*) 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 324 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2024 – 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 2026								CITEPA-s_clés_tier2-GES.xlsx/KCA T2 tendance		
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 2024 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	-4 669	374	100	1,1	13,0	13,0	1	9
5A	Solid Waste Disposal	CH4	12 457	11 425	176	0,99	12,1	25,1	2	17
4A2	Land converted to Forest Land	CO2	-19 645	-15 097	51	0,94	11,5	36,7	3	3
4C2	Land converted to Grassland	CO2	-3 702	-371	51	0,37	4,6	41,2	4	14
2F1	Refrigeration and Air Conditioning	HFC	-	7 764	28	0,34	4,2	45,4	5	7
3D2	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	5 242	4 407	191	0,33	4,1	49,5	6	45
4B1	Cropland remaining Cropland	CO2	1 509	2 732	100	0,28	3,4	52,9	7	32
4B2	Land converted to Cropland	CO2	23 309	11 182	41	0,22	2,7	55,6	8	19
3D1	Direct N2O emissions from managed soils	N2O	17 566	14 379	41	0,22	2,6	58,2	9	20
5D	Wastewater treatment and discharge	CH4	1 313	1 914	106	0,18	2,2	60,4	10	46
3A	Enteric Fermentation	CH4	46 779	36 545	16	0,18	2,2	62,6	11	8
1A4b	Residential / biomass	CH4	4 764	1 958	100	0,16	1,9	64,6	12	48
5D	Wastewater treatment and discharge	N2O	2 299	2 392	106	0,16	1,9	66,5	13	49
1A3b	Road transportation	CO2	114 051	114 401	2,2	0,14	1,8	68,2	14	1
4A1	Forest Land remaining Forest Land	CO2	-32 427	-49 227	18	0,13	1,6	69,8	15	15
4E	Settlements	CO2	6 679	6 612	32	0,12	1,5	71,3	16	25
4C1	Grassland remaining Grassland	CO2	-885	-562	100	0,10	1,2	72,6	17	60
3B	Manure Management	CH4	6 800	6 398	30	0,10	1,2	73,8	18	28
2B3	Adipic Acid Production	N2O	12 656	7,1	7,5	0,092	1,1	74,9	19	5
5B	Biological treatment of solid waste	CH4	112	654	101	0,092	1,1	76,0	20	65
4D2	Land converted to Wetlands	CO2	481	1 111	72	0,091	1,1	77,2	21	51
4B2	Land converted to Cropland	N2O	1 628	451	100	0,088	1,1	78,2	22	67
1A4b	Residential / oil	CO2	30 915	10 458	5,4	0,074	0,91	79,1	23	4
3B	Manure Management	N2O	3 855	2 729	150	0,074	0,91	80,1	24	
1A1a	Public electricity and heat production / coal	CO2	37 412	3 496	2,2	0,069	0,85	80,9	25	2
1B2b	Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CH4	1 703	631	100	0,068	0,83	81,7	26	
1A4a	Commercial/institutional / oil	CO2	16 555	2 544	5,4	0,065	0,80	82,5	27	6
1B1a	Coal mining and handling	CH4	5 354	1,9	11	0,058	0,71	83,2	28	21
1A2g	Manufacturing Industries / Other	N2O	258	528	100	0,057	0,70	83,9	29	
1A4c	Agriculture/forestry/fishing / oil	N2O	816	854	100	0,054	0,66	84,6	30	
1A4b	Residential / gas	CO2	21 064	19 503	5,4	0,053	0,65	85,2	31	11
2C1	Iron and Steel Production	CO2	15 789	7 506	14	0,052	0,64	85,9	32	26
1A1a	Public electricity and heat production / other fos	CO2	2 557	7 073	6,1	0,052	0,63	86,5	33	13
1A4a	Commercial/institutional / gas	CO2	7 993	10 913	5,4	0,049	0,61	87,1	34	12
2B9	Fluorochemical production	HFC	4 202	12	10	0,041	0,51	87,6	35	24
4H	Other	CH4	-	244	100	0,038	0,46	88,1	36	
2C3	Aluminium Production	PFC	3 211	30	12	0,037	0,46	88,5	37	30
2B2	Nitric Acid Production	N2O	5 274	146	7,5	0,037	0,45	89,0	38	22
1A4c	Agriculture/forestry/fishing / oil	CO2	10 905	10 599	5,4	0,032	0,39	89,4	39	16
4F2	Other Land	CO2	279	355	86	0,024	0,30	89,7	40	
	Aerosols	HFC	-	541	28	0,024	0,29	90,0	41	
2G1	Electrical Equipment	SF6	879	129	36	0,024	0,29	90,3	42	
1A1a	Public electricity and heat production / gas	CO2	970	7 172	2,2	0,023	0,28	90,5		10
***	***	***	***	***						
Total (*)			520 897							

(*) 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 325 : Calcul d'incertitude sur les émissions des GES en France en 2024

CALCUL D'INCERTITUDE SUR LES EMISSIONS DES GES EN FRANCE (KYOTO) / METHODE TIER 1 DU GIEC(*)										
source Citepa / format CCNUCC - Mars 2026										CITEPA-incertitudes-GES.xlsx
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Catégorie de source du GIEC / combustible	Gaz	Emissions 1990	Emissions 2024	Incertitudes des données sur les activités 2024 (%)	Incertitudes des facteurs d'émission 2024 (%)	Incertitude combinée 2024 (%)	Incertitude combinée en % des émissions totales excl. UTCATF 2024	Incertitude d'évolution sur les émissions totales excl. UTCATF 2024 (%)	Incertitude combinée en % des émissions totales incl. UTCATF 2024	Incertitude d'évolution sur les émissions totales incl. UTCATF 2024 (%)
1A1 Energy Industries / oil	CO2	19 776	7 460	1,0	2,0	2,2	0,045	0,029	0,051	0,028
1A1 Energy Industries / coal	CO2	41 952	5 241	1,0	2,0	2,2	0,032	0,085	0,036	0,082
1A1 Energy Industries / gas	CO2	1 537	8 343	1,0	2,0	2,2	0,051	0,034	0,057	0,036
1A1 Energy Industries / other fossil fuels	CO2	2 557	7 279	1,0	6,0	6,1	0,12	0,064	0,14	0,068
1A1 Energy Industries / oil	CH4	14	6,0	1,0	100	100	0,0016	0,0007	0,0018	0,0006
1A1 Energy Industries / coal	CH4	18	0,57	1,0	100	100	0,0002	0,0021	0,0002	0,0020
1A1 Energy Industries / gas	CH4	2,0	9,9	1,0	100	100	0,0027	0,0016	0,0030	0,0017
1A1 Energy Industries / other fossil fuels	CH4	0,014	0,14	1,0	100	100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1A1 Energy Industries / biomass	CH4	48	16	1,0	100	100	0,0043	0,0030	0,0048	0,0028
1A1 Energy Industries / oil	N2O	34	20	1,0	100	100	0,0054	0,0005	0,0061	0,0002
1A1 Energy Industries / coal	N2O	193	6,9	1,0	100	100	0,0019	0,022	0,0021	0,022
1A1 Energy Industries / gas	N2O	0,91	16	1,0	100	100	0,0043	0,0028	0,0049	0,0029
1A1 Energy Industries / other fossil fuels	N2O	67	17	1,0	100	100	0,0046	0,0051	0,0052	0,0048
1A1 Energy Industries / biomass	N2O	105	122	1,0	100	100	0,033	0,0094	0,037	0,011
1A2 Manufacturing Industries / oil	CO2	24 537	9 564	3,0	2,0	3,6	0,094	0,078	0,11	0,081
1A2 Manufacturing Industries / coal	CO2	15 969	3 107	3,0	2,0	3,6	0,031	0,037	0,034	0,037
1A2 Manufacturing Industries / gas	CO2	22 717	19 917	3,0	2,0	3,6	0,20	0,16	0,22	0,16
1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels	CO2	767	1 998	3,0	6,0	6,7	0,037	0,022	0,041	0,024
1A2 Manufacturing Industries / oil	CH4	34	7,7	3,0	100	100	0,0021	0,0028	0,0024	0,0027
1A2 Manufacturing Industries / coal	CH4	39	5,7	3,0	100	100	0,0016	0,0037	0,0018	0,0035
1A2 Manufacturing Industries / gas	CH4	13	12	3,0	100	100	0,0033	0,0006	0,0037	0,0008
1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels	CH4	1,6	9,4	3,0	100	100	0,0026	0,0015	0,0029	0,0016
1A2 Manufacturing Industries / biomass	CH4	14	53	3,0	100	100	0,015	0,0081	0,016	0,0086
1A2 Manufacturing Industries / oil	N2O	324	418	3,0	100	100	0,11	0,037	0,13	0,041
1A2 Manufacturing Industries / coal	N2O	57	8,8	3,0	100	100	0,0024	0,0054	0,0027	0,0052
1A2 Manufacturing Industries / gas	N2O	13	13	3,0	100	100	0,0036	0,0009	0,0040	0,0010
1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels	N2O	2,3	14	3,0	100	100	0,0037	0,0022	0,0042	0,0024
1A2 Manufacturing Industries / biomass	N2O	44	285	3,0	100	100	0,078	0,047	0,088	0,050
1A3a Domestic aviation	CO2	3 631	4 203	5,0	1,0	5,1	0,058	0,054	0,066	0,057
1A3a Domestic aviation	CH4	2,6	1,2	5,0	174	174	0,0006	0,0002	0,0006	0,0001
1A3a Domestic aviation	N2O	26	30	5,0	231	231	0,019	0,0055	0,022	0,0063
1A3b Road transportation	CO2	114 051	114 401	-	-	2,2	0,67	0,20	0,76	0,23
1A3b Road transportation	CH4	1 143	137	-	-	15	0,0056	0,0000	0,0063	0,0000
1A3b Road transportation	N2O	839	1 133	-	-	18	0,057	0,0002	0,064	0,0002
1A3c Railways	CO2	1 078	396	5,0	1,0	5,1	0,0055	0,0052	0,0062	0,0054
1A3c Railways	CH4	4,3	1,7	5,0	100	100	0,0005	0,0002	0,0005	0,0002
1A3c Railways	N2O	11	4,5	5,0	150	150	0,0018	0,0008	0,0021	0,0007
1A3d Domestic navigation	CO2	2 955	1 713	20	1,0	20	0,093	0,089	0,11	0,093
1A3d Domestic navigation	CH4	18	23	20	50	54	0,0033	0,0015	0,0038	0,0017
1A3d Domestic navigation	N2O	19	11	20	50	54	0,0017	0,0006	0,0019	0,0006
1A3e Other transportation	CO2	210	300	20	1,0	20	0,016	0,016	0,018	0,016
1A3e Other transportation	CH4	3,4	0,26	20	50	54	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002
1A3e Other transportation	N2O	0,93	1,3	20	50	54	0,0002	0,0001	0,0002	0,0001
1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil	CO2	58 375	23 601	5,0	2,0	5,4	0,35	0,31	0,39	0,32
1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal	CO2	4 035	197	5,0	2,0	5,4	0,0029	0,0095	0,0032	0,0093
1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas	CO2	29 377	30 746	5,0	2,0	5,4	0,45	0,40	0,51	0,42
1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil fuels	CO2	-	45	5,0	2,0	5,4	0,0007	0,0006	0,0007	0,0006
1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil	CH4	205	70	5,0	100	100	0,019	0,012	0,022	0,011
1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal	CH4	180	7,4	5,0	100	100	0,0020	0,021	0,0023	0,020
1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas	CH4	73	77	5,0	100	100	0,021	0,0052	0,024	0,0061
1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil fuels	CH4	-	0,43	5,0	100	100	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
1A4 Commercial, resid., agriculture... / biomass	CH4	4 764	1 965	5,0	100	100	0,54	0,23	0,60	0,20
1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil	N2O	910	881	5,0	100	100	0,24	0,051	0,27	0,061
1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal	N2O	17	0,83	5,0	100	100	0,0002	0,0019	0,0003	0,0019
1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas	N2O	14	15	5,0	100	100	0,0040	0,0010	0,0045	0,0012
1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil fuels	N2O	-	3,6	5,0	100	100	0,0010	0,0007	0,0011	0,0007
1A4 Commercial, resid., agriculture... / biomass	N2O	367	358	5,0	100	100	0,098	0,021	0,11	0,025
1A5 Other	CO2	4 464	2 119	5,0	2,0	5,4	0,031	0,028	0,035	0,029
1A5 Other	CH4	3,6	3,3	5,0	100	100	0,0009	0,0002	0,0010	0,0002
1A5 Other	N2O	31	11	5,0	100	100	0,0030	0,0018	0,0034	0,0017
1B1 Solid Fuels	CH4	5 387	18	5,0	10,0	11	0,0006	0,066	0,0006	0,064
1B2 Oil and Natural Gas	CO2	4 362	1 514	10,0	2,0	10	0,042	0,039	0,047	0,041
1B2 Oil and Natural Gas	CH4	2 017	689	10,0	100	100	0,19	0,12	0,21	0,11
1B2 Oil and Natural Gas	N2O	23	6,5	10,0	100	100	0,0018	0,0017	0,0020	0,0016
2A Mineral industry	CO2	14 938	7 817	5,0	7,6	9,1	0,19	0,11	0,22	0,11
2B Chemical industry	CO2	8 937	6 079	3,0	6,0	6,7	0,11	0,047	0,13	0,050
2B Chemical industry	CH4	125	28	3,0	100	100	0,0076	0,010	0,0086	0,0097
2B Chemical industry	N2O	20 798	203	-	-	7,5	0,0042	0,0000	0,0047	0,0000
2B Chemical industry	HFC	4 202	12	2,0	10,0	10	0,0003	0,051	0,0004	0,050
2B Chemical industry	PFC	1 084	-	2,0	10,0	10	-	0,013	-	0,013
2B Chemical industry	SF6	134	56	30	30	42	0,0065	0,0047	0,0073	0,0048

2C Metal industry	CO2	17 679	8 773	10,0	10,0	14	0,34	0,23	0,38	0,24
2C Metal industry	CH4	158	18	10,0	10,0	14	0,0007	0,0017	0,0008	0,0016
2C Metal industry	PFC	3 211	30	2,0	12	12	0,0010	0,047	0,0011	0,046
2C Metal industry	SF6	743	-	5,0	30	30	-	0,027	-	0,027
2D Non-energy products from fuels and solvent use	CO2	1 047	786	15	40	43	0,092	0,031	0,10	0,034
2D Non-energy products from fuels and solvent use	CH4	1,8	0,31	20	100	102	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002
2D Non-energy products from fuels and solvent use	N2O	1,4	2,5	20	100	102	0,0007	0,0003	0,0008	0,0004
2E Electronic Industry	HFC	24	0,89	10,0	100	100	0,0002	0,0028	0,0003	0,0027
2E Electronic Industry	PFC	184	48	10,0	30	32	0,0042	0,0043	0,0047	0,0041
2E Electronic Industry	SF6	57	4,0	10,0	300	300	0,0032	0,019	0,0036	0,018
2E Electronic Industry	NF3	15	11	10,0	70	71	0,0021	0,0003	0,0024	0,0003
2F Product uses as substitutes for ODS	HFC	-	8 513	20	20	28	0,66	0,54	0,74	0,57
2G Other product manufacture and use	CO2	30	2,4	5,0	7,6	9,1	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002
2G Other product manufacture and use	N2O	111	135	20	1,0	20	0,0074	0,0070	0,0083	0,0073
2G Other product manufacture and use	HFC	-	1,0	10,0	20	22	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000
2G Other product manufacture and use	PFC	206	155	20	10,0	22	0,0095	0,0080	0,011	0,0084
2G Other product manufacture and use	SF6	1 287	220	30	20	36	0,022	0,029	0,024	0,029
2H Other	CO2	0,044	0,066	5,0	10,0	11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3A Enteric Fermentation	CH4	46 779	36 545	5,0	15	16	1,6	0,49	1,8	0,54
3B Manure Management	CH4	6 800	6 398	5,0	30	30	0,53	0,13	0,60	0,15
3B Manure Management	N2O	3 855	2 729	5,0	150	150	1,1	0,053	1,3	0,099
3C Rice Cultivation	CH4	76	48	-	-	78	0,010	0,0000	0,012	0,0000
3D1 Direct N2O emissions from managed soils	N2O	17 566	14 379	-	-	41	1,6	0,060	1,8	0,071
3D2 Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	5 242	4 407	-	-	191	2,3	0,026	2,6	0,031
3F Field burning of agricultural residues	CH4	79	17	30	40	50	0,0023	0,0029	0,0026	0,0028
3F Field burning of agricultural residues	N2O	19	4,1	30	50	58	0,0007	0,0009	0,0007	0,0008
3G Liming	CO2	915	901	5,0	1,0	5,1	0,013	0,012	0,014	0,012
3H Urea application	CO2	865	1 196	5,0	1,0	5,1	0,017	0,016	0,019	0,016
3I Other carbon-containing fertilizers	CO2	125	146	5,0	4,0	6,4	0,0025	0,0019	0,0029	0,0020
4A1 Forest land remaining forest land	CO2	-32 427	-49 227	-	-	18			2,7	0,36
4A1 Forest land remaining forest land	CH4	169	50	-	-	100			0,015	0,0000
4A1 Forest land remaining forest land	N2O	87	25	-	-	100			0,0076	0,0000
4A2 Land converted to forest land	CO2	-19 645	-15 097	-	-	51			2,4	0,097
4A2 Land converted to forest land	N2O	1,5	1,0	-	-	100			0,0003	0,0000
4B1 Cropland remaining cropland	CO2	1 509	2 732	-	-	100			0,84	0,0062
4B1 Cropland remaining cropland	CH4	73	62	-	-	100			0,019	0,0000
4B1 Cropland remaining cropland	N2O	38	33	-	-	100			0,010	0,0000
4B2 Land converted to cropland	CO2	23 309	11 182	-	-	41			1,4	0,043
4B2 Land converted to cropland	CH4	84	109	-	-	100			0,033	0,0000
4B2 Land converted to cropland	N2O	1 628	451	-	-	100			0,14	0,0002
4C1 Grassland remaining grassland	CO2	-885	-562	-	-	100			0,17	0,0003
4C1 Grassland remaining grassland	CH4	142	131	-	-	100			0,040	0,0000
4C1 Grassland remaining grassland	N2O	58	51	-	-	100			0,016	0,0000
4C2 Land converted to grassland	CO2	-3 702	-371	-	-	51			0,058	0,0001
4C2 Land converted to grassland	CH4	104	95	-	-	100			0,029	0,0000
4C2 Land converted to grassland	N2O	7,0	9,5	-	-	100			0,0029	0,0000
4D1 Wetlands remaining wetlands	CO2	265	57	-	-	72			0,013	0,0000
4D1 Wetlands remaining wetlands	CH4	-	-	-	-	100			-	-
4D1 Wetlands remaining wetlands	N2O	-	2,0	-	-	100			0,0006	0,0000
4D2 Land converted to wetlands	CO2	481	1 111	-	-	72			0,25	0,0007
4D2 Land converted to wetlands	CH4	9,5	10	-	-	100			0,0032	0,0000
4D2 Land converted to wetlands	N2O	7,3	49	-	-	100			0,015	0,0000
4E Settlements	CO2	6 679	6 612	-	-	32			0,65	0,012
4E Settlements	CH4	71	65	-	-	100			0,020	0,0000
4E Settlements	N2O	265	226	-	-	100			0,069	0,0000
4F1 Other Land	CO2	-	-	-	-	102			-	-
4F1 Other Land	CH4	-	-	-	-	100			-	-
4F1 Other Land	N2O	-	-	-	-	100			-	-
4F2 Other Land	CO2	279	355	-	-	86			0,094	0,0001
4F2 Other Land	CH4	2,0	2,7	-	-	100			0,0008	0,0000
4F2 Other Land	N2O	13	14	-	-	100			0,0043	0,0000
4G Harvested Wood Products	CO2	-4 669	374	10,0	100	100			0,12	0,64
4H Other	CO2	-	23	5,0	30	30			0,0022	0,0013
4H Other	CH4	-	244	-	-	100			0,075	0,0000
4H Other	N2O	-	-	-	-	100			-	-
5A Solid Waste Disposal on Land	CH4	12 457	11 425	15	175	176	5,5	0,98	6,2	1,2
5B Biological treatment of solid waste	CH4	112	654	15	100	101	0,18	0,11	0,20	0,12
5B Biological treatment of solid waste	N2O	61	179	15	100	101	0,049	0,026	0,056	0,028
5C Incineration and open burning of waste	CO2	2 110	1 235	15	20	25	0,084	0,0083	0,095	0,050
5C Incineration and open burning of waste	CH4	54	84	30	50	58	0,013	0,0051	0,015	0,0084
5C Incineration and open burning of waste	N2O	151	55	15	30	34	0,0051	0,0028	0,0057	0,0032
5D Wastewater treatment and discharge	CH4	1 313	1 914	35	100	106	0,55	0,20	0,62	0,28
5D Wastewater treatment and discharge	N2O	2 299	2 392	35	100	106	0,69	0,16	0,78	0,29
0 Indirect CO2	CO2	1 657	780	15	40	43	0,091	0,026	0,10	0,037
					Incertitude sur les émissions totales		**6,7**	**1,5**	**8,5**	**1,9**

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 326 : 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 2026							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	0,081	0,085
1A1 Energy Industries / coal	CO2	41 952	1,0	2,0	2,2	0,17	0,18
1A1 Energy Industries / gas	CO2	1 537	1,0	2,0	2,2	0,0063	0,0066
1A1 Energy Industries / other fossil fuels	CO2	2 557	1,0	6,0	6,1	0,028	0,030
1A1 Energy Industries / oil	CH4	14	1,0	100	100	0,0026	0,0028
1A1 Energy Industries / coal	CH4	18	1,0	100	100	0,0033	0,0034
1A1 Energy Industries / gas	CH4	2,0	1,0	100	100	0,0004	0,0004
1A1 Energy Industries / other fossil fuels	CH4	0,014	1,0	100	100	0,0000	0,0000
1A1 Energy Industries / biomass	CH4	48	1,0	100	100	0,0088	0,0092
1A1 Energy Industries / oil	N2O	34	1,0	100	100	0,0061	0,0065
1A1 Energy Industries / coal	N2O	193	1,0	100	100	0,035	0,037
1A1 Energy Industries / gas	N2O	0,91	1,0	100	100	0,0002	0,0002
1A1 Energy Industries / other fossil fuels	N2O	67	1,0	100	100	0,012	0,013
1A1 Energy Industries / biomass	N2O	105	1,0	100	100	0,019	0,020
1A2 Manufacturing Industries / oil	CO2	24 537	3,0	2,0	3,6	0,16	0,17
1A2 Manufacturing Industries / coal	CO2	15 969	3,0	2,0	3,6	0,11	0,11
1A2 Manufacturing Industries / gas	CO2	22 717	3,0	2,0	3,6	0,15	0,16
1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels	CO2	767	3,0	6,0	6,7	0,0094	0,0099
1A2 Manufacturing Industries / oil	CH4	34	3,0	100	100	0,0063	0,0066
1A2 Manufacturing Industries / coal	CH4	39	3,0	100	100	0,0071	0,0074
1A2 Manufacturing Industries / gas	CH4	13	3,0	100	100	0,0023	0,0024
1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels	CH4	1,6	3,0	100	100	0,0003	0,0003
1A2 Manufacturing Industries / biomass	CH4	14	3,0	100	100	0,0025	0,0026
1A2 Manufacturing Industries / oil	N2O	324	3,0	100	100	0,059	0,062
1A2 Manufacturing Industries / coal	N2O	57	3,0	100	100	0,010	0,011
1A2 Manufacturing Industries / gas	N2O	13	3,0	100	100	0,0023	0,0024
1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels	N2O	2,3	3,0	100	100	0,0004	0,0004
1A2 Manufacturing Industries / biomass	N2O	44	3,0	100	100	0,0081	0,0085
1A3a Domestic aviation	CO2	3 631	10,0	1,0	10	0,067	0,070
1A3a Domestic aviation	CH4	2,6	10,0	174	174	0,0008	0,0009
1A3a Domestic aviation	N2O	26	10,0	231	231	0,011	0,012
1A3b Road transportation	CO2	114 051	-	-	1,3	0,27	0,29
1A3b Road transportation	CH4	1 143	-	-	38	0,079	0,083
1A3b Road transportation	N2O	839	-	-	31	0,048	0,050
1A3c Railways	CO2	1 078	5,0	1,0	5,1	0,010	0,011
1A3c Railways	CH4	4,3	5,0	100	100	0,0008	0,0008
1A3c Railways	N2O	11	5,0	150	150	0,0031	0,0032
1A3d Domestic navigation	CO2	2 955	20	1,0	20	0,11	0,11
1A3d Domestic navigation	CH4	18	20	50	54	0,0018	0,0019
1A3d Domestic navigation	N2O	19	20	50	54	0,0019	0,0020
1A3e Other transportation	CO2	210	20	1,0	20	0,0077	0,0081
1A3e Other transportation	CH4	3,4	20	50	54	0,0003	0,0003
1A3e Other transportation	N2O	0,93	20	50	54	0,0001	0,0001
1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil	CO2	58 375	5,0	2,0	5,4	0,57	0,60
1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal	CO2	4 035	5,0	2,0	5,4	0,040	0,042
1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas	CO2	29 377	5,0	2,0	5,4	0,29	0,30
1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil fuels	CO2	-	5,0	2,0	5,4	-	-
1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil	CH4	205	5,0	100	100	0,038	0,039
1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal	CH4	180	5,0	100	100	0,033	0,035
1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas	CH4	73	5,0	100	100	0,013	0,014
1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil fuels	CH4	-	5,0	100	100	-	-
1A4 Commercial, resid., agriculture... / biomass	CH4	4 764	5,0	100	100	0,87	0,92
1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil	N2O	910	5,0	100	100	0,17	0,17
1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal	N2O	17	5,0	100	100	0,0031	0,0033
1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas	N2O	14	5,0	100	100	0,0025	0,0027
1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil fuels	N2O	-	5,0	100	100	-	-
1A4 Commercial, resid., agriculture... / biomass	N2O	367	5,0	100	100	0,067	0,071
1A5 Other	CO2	4 464	5,0	2,0	5,4	0,044	0,046
1A5 Other	CH4	3,6	5,0	100	100	0,0007	0,0007
1A5 Other	N2O	31	5,0	100	100	0,0057	0,0060

1B1 Solid Fuels	CH4	5 387	5,0	10,0	11	0,11	0,12
1B2 Oil and Natural Gas	CO2	4 362	10,0	2,0	10	0,081	0,085
1B2 Oil and Natural Gas	CH4	2 017	10,0	100	100	0,37	0,39
1B2 Oil and Natural Gas	N2O	23	10,0	100	100	0,0043	0,0045
2A Mineral industry	CO2	14 938	5,0	7,6	9,1	0,25	0,26
2B Chemical industry	CO2	8 937	3,0	6,0	6,7	0,11	0,12
2B Chemical industry	CH4	125	3,0	100	100	0,023	0,024
2B Chemical industry	N2O	20 798	-	-	7,5	0,29	0,30
2B Chemical industry	HFC	4 202	2,0	10,0	10	0,078	0,082
2B Chemical industry	PFC	1 084	2,0	10,0	10	0,020	0,021
2B Chemical industry	SF6	134	30	30	42	0,010	0,011
2C Metal industry	CO2	17 679	10,0	10,0	14	0,46	0,48
2C Metal industry	CH4	158	10,0	10,0	14	0,0041	0,0043
2C Metal industry	PFC	3 211	2,0	12	12	0,071	0,075
2C Metal industry	SF6	743	5,0	30	30	0,041	0,043
2D Non-energy products from fuels and solvent use	CO2	1 047	15	40	43	0,082	0,086
2D Non-energy products from fuels and solvent use	CH4	1,8	20	100	102	0,0003	0,0004
2D Non-energy products from fuels and solvent use	N2O	1,4	20	100	102	0,0003	0,0003
2E Electronic Industry	HFC	24	10,0	100	100	0,0044	0,0046
2E Electronic Industry	PFC	184	10,0	30	32	0,011	0,011
2E Electronic Industry	SF6	57	10,0	300	300	0,031	0,033
2E Electronic Industry	NF3	15	10,0	70	71	0,0020	0,0021
2F Product uses as substitutes for ODS	HFC	-	20	20	28	-	-
2G Other product manufacture and use	CO2	30	5,0	7,6	9,1	0,0005	0,0005
2G Other product manufacture and use	N2O	111	20	1,0	20	0,0041	0,0043
2G Other product manufacture and use	HFC	-	10,0	20	22	-	-
2G Other product manufacture and use	PFC	206	20	10,0	22	0,0084	0,0088
2G Other product manufacture and use	SF6	1 287	30	20	36	0,085	0,089
2H Other	CO2	0,044	5,0	10,0	11	0,0000	0,0000
3A Enteric Fermentation	CH4	46 779	5,0	15	16	1,4	1,4
3B Manure Management	CH4	6 800	5,0	30	30	0,38	0,40
3B Manure Management	N2O	3 855	5,0	50	50	0,35	0,37
3C Rice Cultivation	CH4	76	-	-	78	0,011	0,011
3D1 Direct N2O emissions from managed soils	N2O	17 566	-	-	41	1,3	1,4
3D2 Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	5 242	-	-	191	1,8	1,9
3F Field burning of agricultural residues	CH4	79	30	80	85	0,012	0,013
3F Field burning of agricultural residues	N2O	19	30	95	100	0,0035	0,0037
3G Liming	CO2	915	5,0	1,0	5,1	0,0085	0,0090
3H Urea application	CO2	865	5,0	1,0	5,1	0,0081	0,0085
3I Other carbon-containing fertilizers	CO2	125	5,0	4,0	6,4	0,0015	0,0015
4A1 Forest land remaining forest land	CO2	-32 427	-	-	18		1,1
4A1 Forest land remaining forest land	CH4	169	-	-	100		0,032
4A1 Forest land remaining forest land	N2O	87	-	-	100		0,017
4A2 Land converted to forest land	CO2	-19 645	-	-	51		1,9
4A2 Land converted to forest land	N2O	1,5	-	-	100		0,0003
4B1 Cropland remaining cropland	CO2	1 509	-	-	100		0,29
4B1 Cropland remaining cropland	CH4	73	-	-	100		0,014
4B1 Cropland remaining cropland	N2O	38	-	-	100		0,0073
4B2 Land converted to cropland	CO2	23 309	-	-	41		1,8
4B2 Land converted to cropland	CH4	84	-	-	100		0,016
4B2 Land converted to cropland	N2O	1 628	-	-	100		0,31
4C1 Grassland remaining grassland	CO2	-885	-	-	100		0,17
4C1 Grassland remaining grassland	CH4	142	-	-	100		0,027
4C1 Grassland remaining grassland	N2O	58	-	-	100		0,011
4C2 Land converted to grassland	CO2	-3 702	-	-	51		0,36
4C2 Land converted to grassland	CH4	104	-	-	100		0,020
4C2 Land converted to grassland	N2O	7,0	-	-	100		0,0013
4D1 Wetlands remaining wetlands	CO2	265	-	-	72		0,037
4D1 Wetlands remaining wetlands	CH4	-	-	-	100		-
4D1 Wetlands remaining wetlands	N2O	-	-	-	100		-
4D2 Land converted to wetlands	CO2	481	-	-	72		0,066
4D2 Land converted to wetlands	CH4	9,5	-	-	100		0,0018
4D2 Land converted to wetlands	N2O	7,3	-	-	100		0,0014
4E Settlements	CO2	6 679	-	-	32		0,41
4E Settlements	CH4	71	-	-	100		0,014
4E Settlements	N2O	265	-	-	100		0,051
4F1 Other Land	CO2	-	-	-	102		-
4F1 Other Land	CH4	-	-	-	100		-
4F1 Other Land	N2O	-	-	-	100		-
4F2 Other Land	CO2	279	-	-	86		0,046
4F2 Other Land	CH4	2,0	-	-	100		0,0004
4F2 Other Land	N2O	13	-	-	100		0,0026
4G Harvested Wood Products	CO2	-4 669	10,0	100	100		0,90
4H Other	CO2	-	5,0	30	30		-
4H Other	CH4	-	-	-	100		-
4H Other	N2O	-	-	-	100		-

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	0,021	0,022
5B Biological treatment of solid waste	N2O	61	15	100	101	0,011	0,012
5C Incineration and open burning of waste	CO2	2 110	15	20	25	0,096	0,10
5C Incineration and open burning of waste	CH4	54	30	50	58	0,0057	0,0060
5C Incineration and open burning of waste	N2O	151	15	30	34	0,0092	0,0097
5D Wastewater treatment and discharge	CH4	1 313	35	100	106	0,25	0,27
5D Wastewater treatment and discharge	N2O	2 299	35	100	106	0,45	0,47
0 Indirect CO2	CO2	1 657	15	40	43	0,13	0,14
			Incertitude sur les émissions totales			**5,0**	**6,1**

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.

A1 Systèmes de gestion des déjections animales (SGDA)

Systèmes de gestion des déjections animales – Traitement des données pour les bovins, porcins, ovins et caprins // Annexe du NID et de l'IIR

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 327 : 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 328 : 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 327.

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 329 : 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 330 : 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 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 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%	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 331 : 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 332 : 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 333 : 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 334 : 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 335 : 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 227 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les bovins

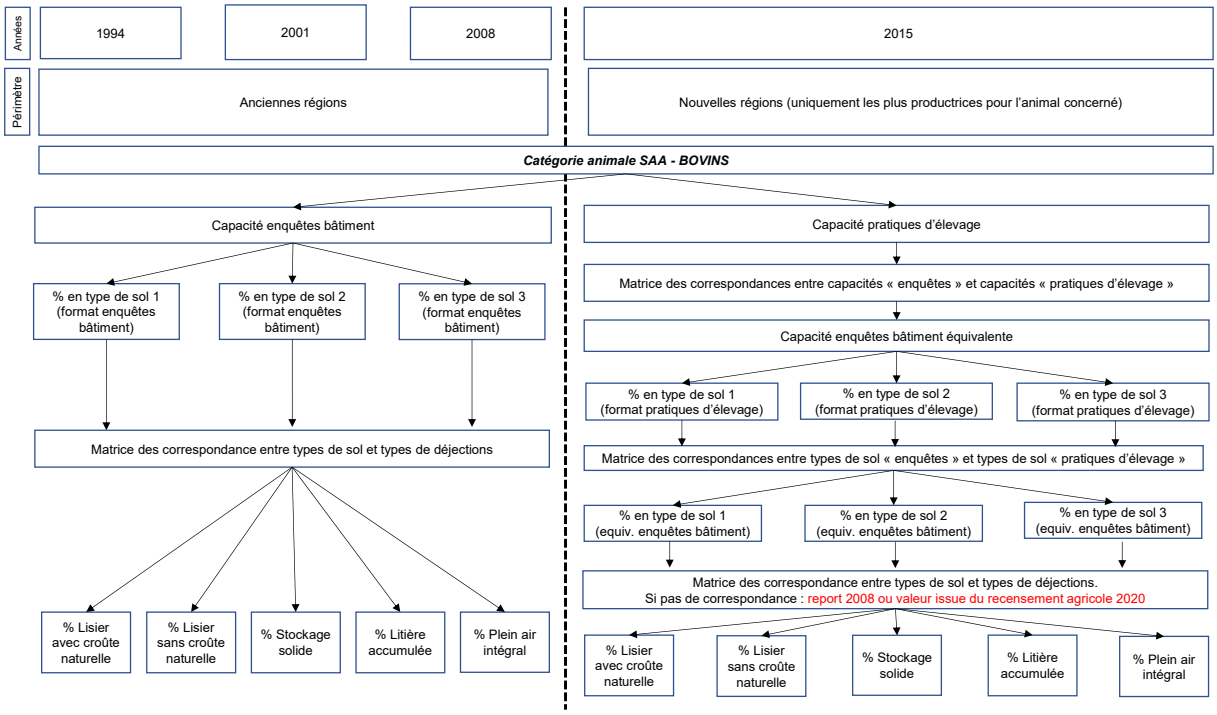


Figure 228 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les porcins

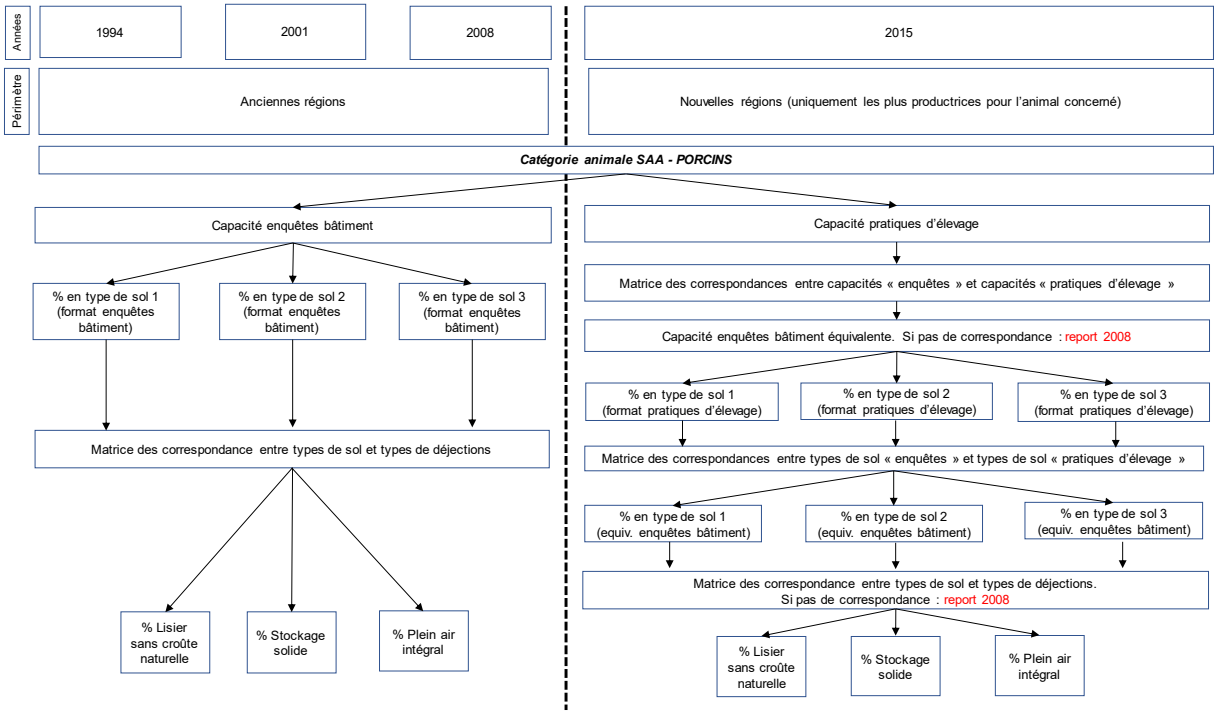


Figure 229 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les ovins

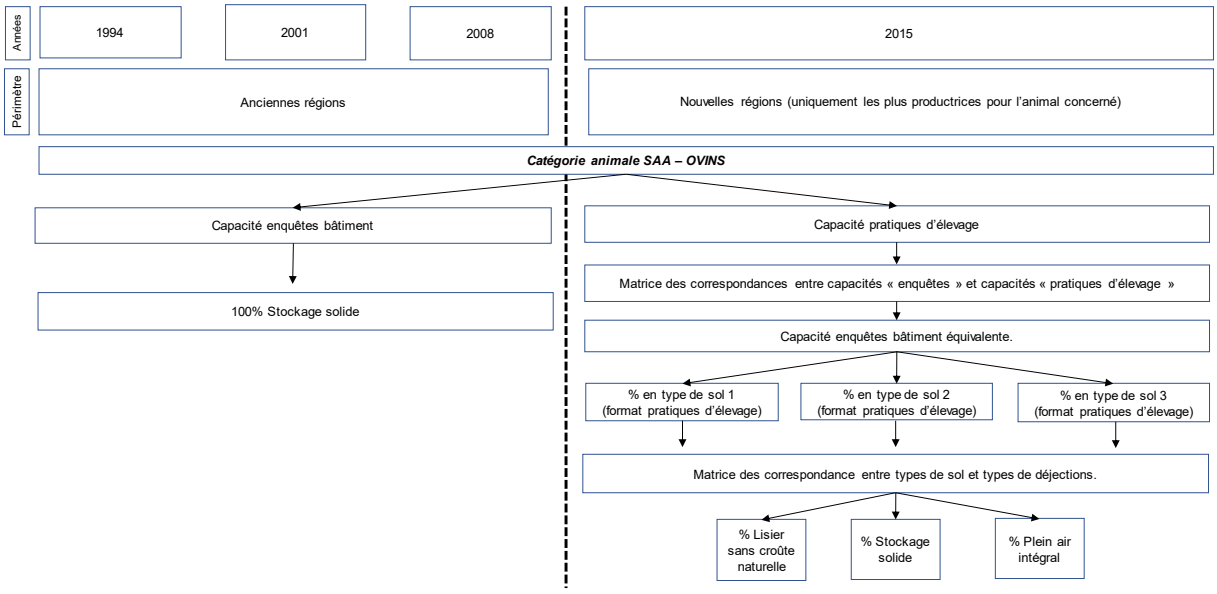
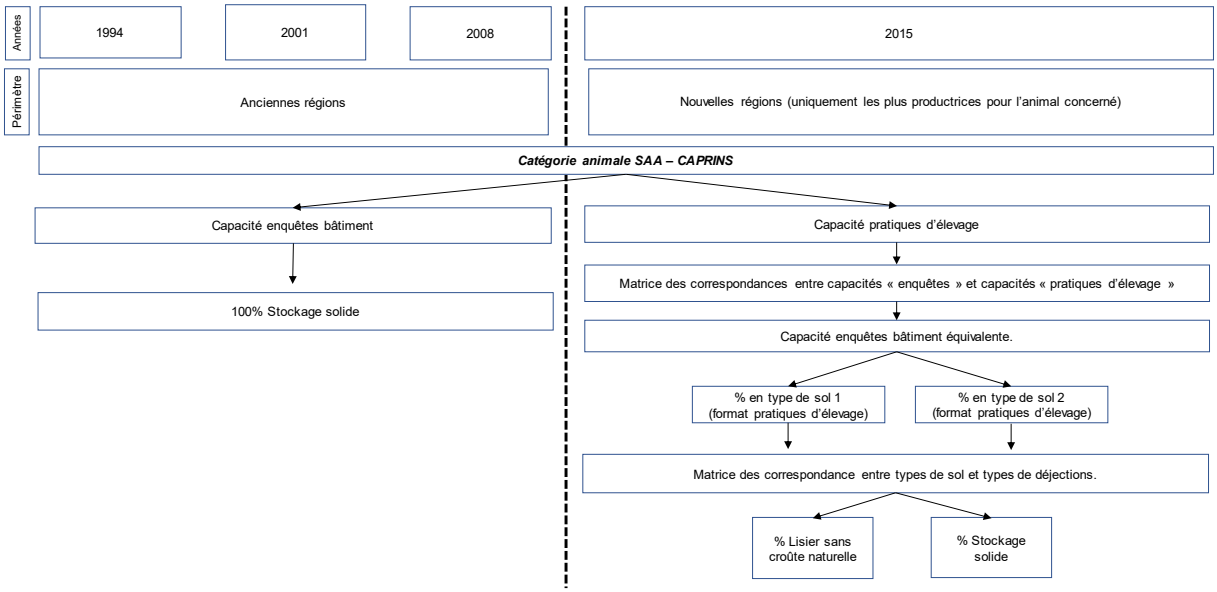


Figure 230 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les caprins

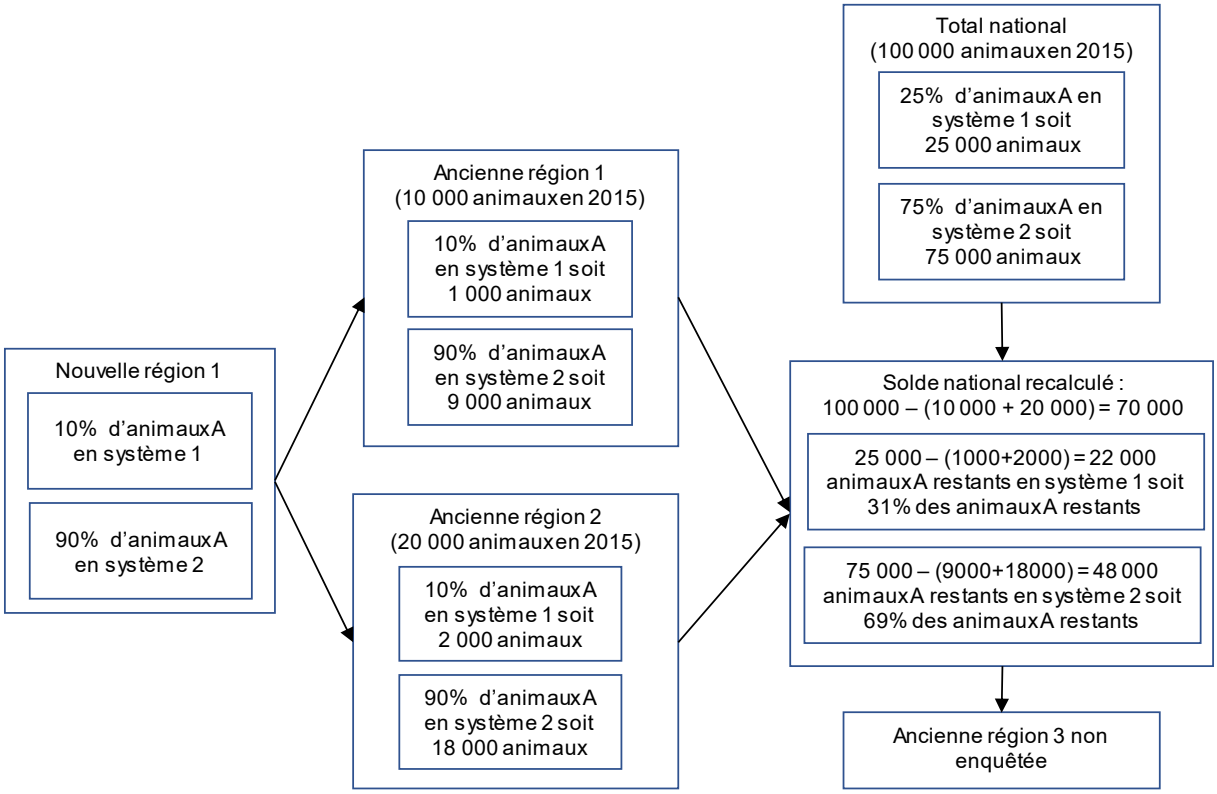


A ces différents retraitements vient s'ajouter la complexité de la couverture géographique. En effet, comme mentionné plus haut, les résultats des enquêtes pratiques d'élevage sont restitués au niveau national et pour les principales nouvelles régions productrices. Pour compléter la couverture géographique 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 231 : 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 336 : 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 337 : 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 338 : 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 339 : 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 336).

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 340 : 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 341 : 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 342 : 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 343 : 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 336).

Systèmes de gestion des déjections animales – Traitement des données pour les équins// Annexe du NID et de l'IIR

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// Annexe du NID et de l'IIR

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// Annexe du NID et de l'IIR

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// Annexe du NID et de l'IIR

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.

A2 Fermentation entérique des vaches laitières et estimation du SV

Les émissions de CH4 entérique des vaches laitières sont estimées selon une méthode nationale produite par l'Inrae et publiée dans la revue « Journal of Environmental Management » (Eugene, et al (2019) [986]).

Cette méthode mobilise la Matière Organique Digestible Ingérée (MODI), à partir de laquelle il est possible d'estimer les émissions de CH4 entérique selon l'équation suivante :

$$EF = MODI \times FCMe \times 365 / 1000$$

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)

Cette équation est utilisée au niveau des anciennes régions, en se basant sur des vaches « types » et en mobilisant différentes sources d'informations présentées au fil de cette section, qui détaille également les étapes de la modélisation mise en place.

Echelle d'application du modèle – géographique et temporal

L'ensemble des calculs est effectué au niveau des anciennes régions. Pour chaque ancienne région, le troupeau régional est modélisé à partir de 4 vaches considérées « type » : primipare avec mise bas septembre, primipare avec mise bas mai, multipare avec mise bas septembre, multipare avec mise bas mai. La pondération entre ces vaches types est fixe pour l'ensemble des régions et l'ensemble de la période : on considère que 30% des vaches sont primipares et qu'un tier des vaches mettent bas en mai.

Les émissions sont à rapporter sur un pas de temps annuel. Cependant, la plupart des vaches laitières en France fonctionnent selon des cycles temporels supérieurs à un an : l'intervalle vêlage-vêlage classiquement rencontré est d'environ 400 jours. Par simplification pour la modélisation, ce cycle de 400 jours est adapté ici pour correspondre à la temporalité demandée pour le rapportage, à savoir 365 jours. Ainsi, a été considéré pour chacune des vaches type un cycle de 365 jours à la fin duquel intervient le vêlage. Ce cycle est découpé en 305 jours de lactation et 60 jours de tarissement, avec 37 semaines de gestation. Le pas de temps considéré pour le calcul est la semaine.

Caractéristiques des animaux

Pour estimer les besoins des vaches laitières et/ou les émissions de CH4 entérique, deux principaux paramètres relatifs aux animaux sont à considérer : le poids vif et le rendement laitier.

Pour le poids vif : une grille de correspondance poids/rendement laitier selon la parité a été établie sur la base des hypothèses formulées dans le projet MONDFERENT [508][509]. Les hypothèses suivantes sont retenues :

Parité	Rendement lait (kg/tête)	Poids vif (kg/tête)	Parité	Rendement lait (kg/tête)	Poids vif (kg/tête)
Primipare	1 333	510	Multipare	2 250	565
Primipare	2 333	525	Multipare	3 000	580
Primipare	3 000	535	Multipare	4 000	600
Primipare	4 000	550	Multipare	5 000	620
Primipare	5 000	565	Multipare	6 000	640
Primipare	6 000	580	Multipare	7 000	660
Primipare	7 000	595	Multipare	8 000	680

Primipare	8 000	610
Primipare	9 000	625
Primipare	10 000	640

Multipare	9 000	700
Multipare	10 000	720
Multipare	11 000	740
Multipare	12 000	760

Pour le rendement laitier : la statistique agricole annuelle (SAA) fournit la production de lait annuelle par ancienne région [410]. D'après des échanges avec l'Inrae, cette statistique représenterait environ 92% de la production réelle de lait (n'incluant pas le lait tété par les veaux et le lait non vendu). La production réelle de lait est estimée en divisant la production totale issue de la SAA par 0,92. Cette production réelle est ensuite répartie entre les différents cas types en considérant un rendement des multipares à 1,2 fois celui des primipares, hypothèse également issue d'échanges avec l'Inrae. La période de mise bas n'est pas jugée impactante pour le rendement laitier.

Répartition entre bâtiment et pâture

Par simplification, le modèle établi ici fixe les mois passés au pâturage pour l'ensemble des régions et pour l'ensemble de la période. Les vaches sont considérées à la pâture de début mars à mi-octobre. Cette attribution entre bâtiment et pâture est décorrélée de l'estimation du temps passé à la pâture présentée dans la section générale. Il s'agit ici de simplifier les hypothèses, cette attribution impactant uniquement l'index d'activité présenté plus bas pour le calcul des besoins d'entretien.

Estimation des besoins

L'estimation des besoins des vaches laitières est faite selon la méthode présentée dans l'ouvrage Inrae « Alimentation des ruminants » de 2018 [1315]. Sont ainsi estimés les besoins pour l'entretien, la croissance, la production de lait et la gestation, tels que définis dans les équations suivantes. Ces besoins sont estimés en UFL (Unité Fourragère Lait) par jour.

Besoin pour l'entretien = 0,0536 x PV0,75 x Iact

Avec : *PV : poids vif (kg/tête) ;*

I_{act} : index d'activité.

L'index d'activité retenu pour les mois passés à la pâture est de 1,1 (pâturage de pleine) et de 0,975 pour les mois passés au bâtiment (moyenne stabulation libre et stabulation entravée).

Besoin pour la croissance = 3,14 - (0,077 x Age)

Avec : *Age exprimé en mois.*

Ce besoin pour la croissance est uniquement estimé pour les primipares que l'on considère comme démarrant le cycle au moment de leur premier vêlage, en faisant l'hypothèse d'un âge moyen à 27,5 mois.

Besoin pour la production de lait = PL x [0,42 + [0,0053 x (TB - 40)] + [0,0032 x (TP - 31)]

Avec : *PL : production de lait (kg/jour) ;*

TB : taux butyreux (g/kg) ;

TP : taux protéique (g/kg)

La production de lait journalière est estimée à partir de la production annuelle de la vache type (voir section Caractéristique des animaux) répartie par semaine de lactation selon les courbes proposées dans l'ouvrage Inra

[1315]. Pour rappel, on considère ici une lactation sur 305 jours. Les taux butyreux et protéiques sont fixés respectivement à 40 et 32 pour l'ensemble des régions et de la période.

Besoin pour la gestation = 0,000695 x PVveau x exp (0,116 x SG)

Avec : *PV_{veau} : poids du veau attendu à la naissance (kg) ;*

SG : semaine de gestation

Le poids du veau attendu à la naissance est fixé à 45 kg pour l'ensemble des régions et de la période. Besoin pour la croissance = 3,14 - (0,077 x Age)

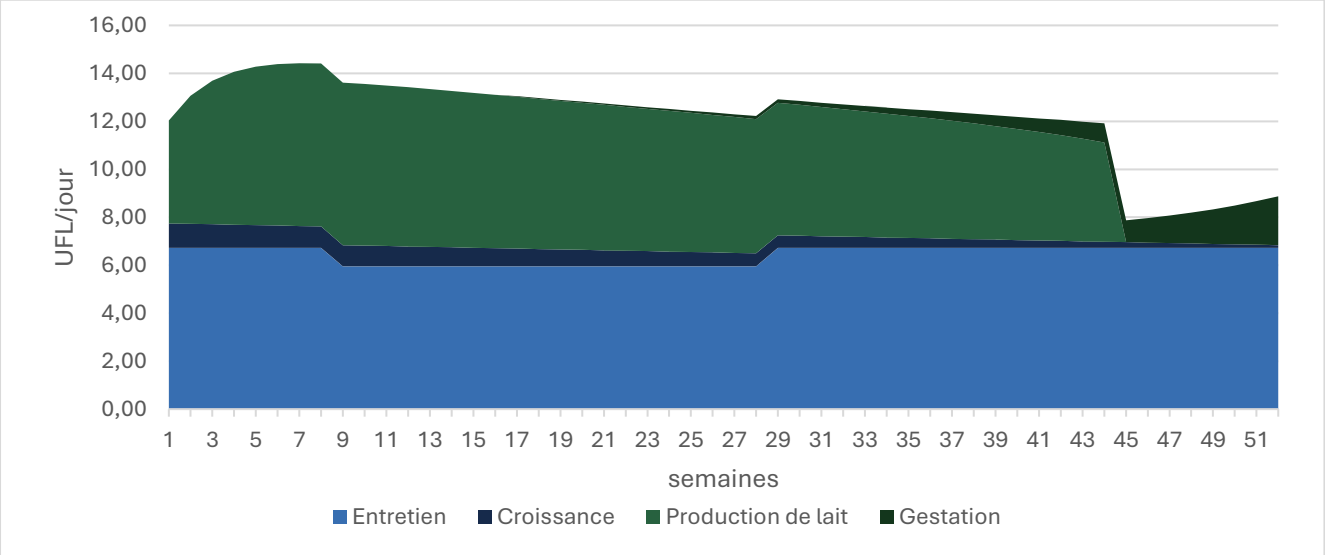


Figure 232 : Exemple – Evolution des besoins journaliers en UFL par semaine d'une primipare mise bas septembre sur l'année, avec un rendement laitier d'environ 6000 kg lait/an.

Ces besoins, exprimés en UFL, sont ensuite convertis en mégajoules (MJ) de la façon suivante :

Besoins totaux (UFL) = Besoin entretien + Besoin croissance + Besoin production de lait + Besoin gestation
Besoins (MJ) = Besoins totaux (UFL) x 1760 (kcal/UFL) x 4,185 (kJ/kcal) / 1000

Prise en compte des rations

En 2018, le Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière (Cniel) a publié un document [1316] dans lequel sont présentées les compositions moyennes des rations régionales des vaches laitières en 2017 selon la saison, établies à partir des données de l'Observatoire de l'alimentation des vaches laitières françaises, à partir d'un réseau suivi de 14 840 élevages.

Le graphique suivant reprend ces données pour la moyenne France :

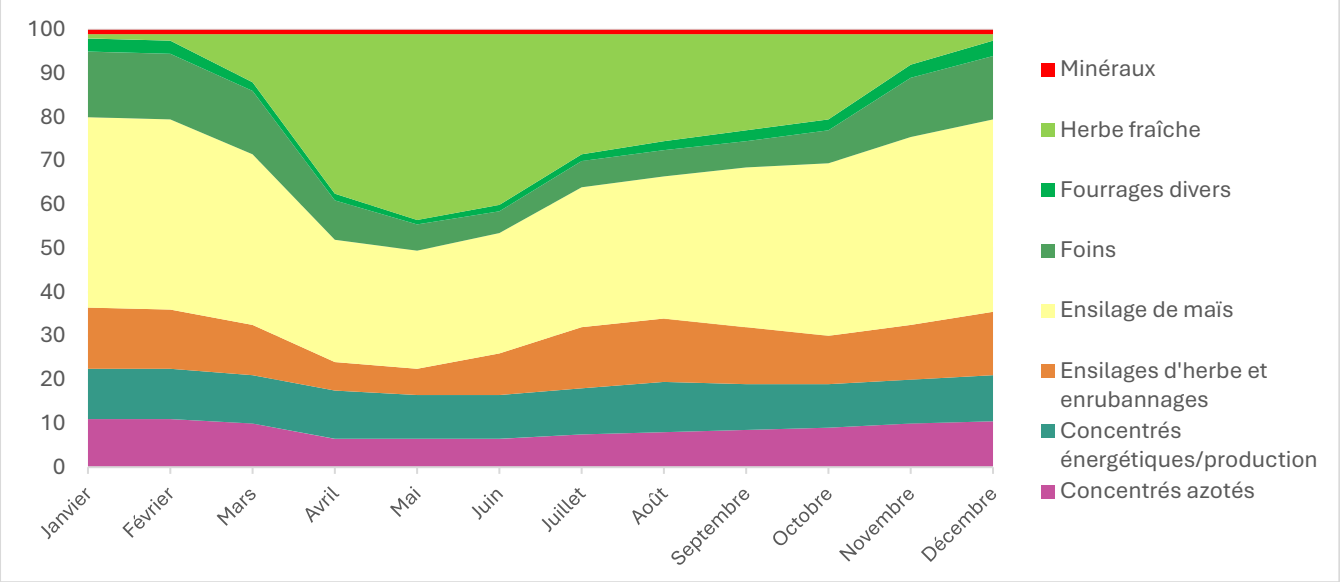


Figure 233 : Composition de la ration moyenne vache laitière France sur l'année

Le document du Cniel présente des rations moyennes pour les grandes régions suivantes : Auvergne-Limousin, Charentes-Poitou, Centre, Grand-Est, Grand-Ouest, Nord-Picardie, Normandie, Sud-Ouest, Sud-Est. Une carte est présentée dans le document pour mieux identifier les zones concernées. Une moyenne française est également proposée (voir ci-dessus).

L'attribution suivante de ces rations a été faite au niveau des anciennes régions :

Tableau 344 : 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

Les rations précédemment mentionnées font apparaître divers grands ensembles d'aliments qu'il s'agit ensuite de caractériser : teneur en énergie, matière organique, digestibilité, …. Pour cela, les tables Inra 2018 situées à la fin de l'ouvrage [1315] ont été mobilisées.

Pour chaque grand ensemble intervenant dans la ration (herbe fraiche, foin, concentré, …), un certain nombre d'aliments listés dans ces tables a été retenu pour établir une valeur moyenne pour chaque ensemble des variables recherchées. Par exemple, pour l'ensemble « foins », ce sont les valeurs de 25 types de foins qui ont été moyennées.

Le tableau suivant présente les valeurs retenues par grand ensemble pour les principales variables d'intérêt :

Tableau 345 : 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

dMO : coefficient apparent de la digestibilité de la matière organique ; MO : matière organique ; dE : coefficient apparent de la digestibilité de l'énergie ; MAT : Matières azotées totales (N x 6.25).

Calcul de la MSI et de la MODI avec prise en compte des interactions digestives

Le principe de la méthode consiste à considérer que les besoins des animaux sont bien couverts par les rations apportées. On effectue ainsi une première estimation de la quantité de Matière Sèche Ingérée (MSI) en divisant les besoins précédemment estimés (UFL/jour) par la teneur en UFL de la ration (UFL/kg MS).

Cependant, cette estimation ne permet pas de prendre en compte les interactions digestives. Ces interactions digestives vont réduire l'énergie apportée par la ration : pour s'assurer une couverture totale des besoins, l'énergie apportée par la ration estimée précédemment doit être révisée pour intégrer cette énergie liée aux interactions. Une prise en compte simplifiée de ces interactions est faite ici, à partir du système d'équations suivant produit par l'Inrae [1330] :

$$\begin{cases} MSI = \dfrac{(Besoins + Energie_{interaction})}{UFL_{ration}} \\ Energie_{interaction} = -0.765 + 1.437 * PC - 0.126 * NI + 0.214 * NI^2 \\ NI = \dfrac{MSI * 100}{PV} \end{cases}$$

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)

Les interactions digestives modifient la digestibilité de la ration, effet estimé de manière simplifiée à partir des équations suivantes établies par l'Inrae [1330] :

MODI (kg/jour) = (MSI x MOration / 1000 x dMOration - MODIinteraction)

$$MODI_{interaction}\ (kg/jour) = -0.756 + 0.945*PC - 0.024*NI + 0.161*NI$$

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

Le facteur de conversion en méthane est calculé selon l'équation suivante :

$$FCMe = 45.42 - 6.66 \times NI + 0.75 \times NI^2 + 19.65 \times PC - 35.0 \times PC^2 - 2.69 \times NI \times PC$$

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 (%).

Cette équation générique intra-expérimentale prend en compte les effets des interactions digestives sur le CH4 et la MODI. Elle est issue d'une large base de données (450 éléments de données) regroupant des résultats expérimentaux d'émission de CH4 et de digestibilité, mesurés dans des chambres calorimétriques avec des bovins et des petits ruminants nourris avec une grande variété de régimes, excluant les régimes supplémentés en lipides ou en additifs, pour lesquels l'émission de CH4 dépend de facteurs autres que la digestibilité. Dans cette équation, le niveau d'ingestion utilisé prend en compte les interactions digestives comme exposé précédemment.

Calcul du facteur d'émission de CH_4 entérique

Le facteur d'émission est estimé selon l'équation suivante :

$$EF = MODI \times FCMe \times 365 / 1000$$

Dans cette équation, la MODI utilisée est celle corrigée pour prendre en compte les interactions digestives.

Estimation de l'excrétion carbonée (SV)

Les émissions de CH_4 liées à la gestion des déjections sont estimées à partir de l'excrétion carbonée des animaux, qui correspond au paramètre SV (solides volatiles). Ce paramètre SV est estimé de la façon suivante :

$$SV = SV\ fèces + SV\ urines$$

Le SV fèces correspond, dans la méthode Inrae appliquée ici, à la Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI). La MONDI est estimée selon l'équation suivante :

$$SV\ fèces = MONDI = MOI - MODI$$

$$MOI = MSI \times MO_{ration}/1000$$

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) ;

MO_{ration} : teneur en matière organique de la ration (g/kg MS).

Le paramètre SV urine est estimé selon l'équation proposée dans le Giec [1229], à partir de l'énergie brute ingérée :

$$SV\ urine = (0{,}04 \times EB) \times (MO_{ration} / 1000 / 18{,}45).$$

$$EB = MSI \times EB_{ration} \times 4{,}185\ (kJ/kcal) / 1000$$

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)

A3 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 346 : 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) :

$$CH_4 \text{ (g/kg PV/jour)} = 0{,}083 + 0{,}025 \times \text{MODI (g/kg PV/jour)}$$

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 :

$$\text{MODI (g)} = \text{EMI (kcal)} / \text{(EMI/MODI) (kcal/g)}$$

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.

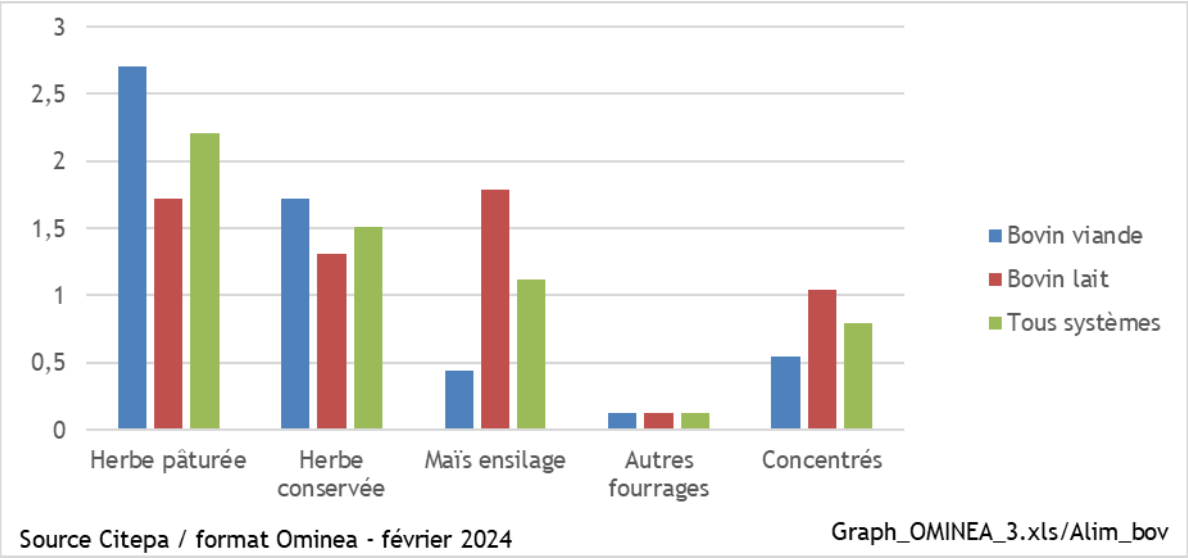
Ces fermes sont représentatives de la diversité des systèmes d'élevages français en lien notamment avec les différents types de production et la variété des territoires valorisés. Elles sont suivies annuellement dans le cadre du dispositif Réseaux d'Elevage conduit en partenariat avec les Chambres d'Agriculture 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 234 : 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 347 : 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.

$$\text{MODIcorrigée (g)} = \text{MODI (g)} + 1{,}2 - 0{,}0226 \times \text{PCO}$$

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.

$$\text{EMI (kcal)} = \text{ENI (kcal)} / k$$

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] :

$$EN_{lait} \text{ (kcal)} = \text{UFL (kcal)} \times 1\,700$$

$$EN_{viande} \text{ (kcal)} = \text{UFV (kcal)} \times 1\,820$$

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.

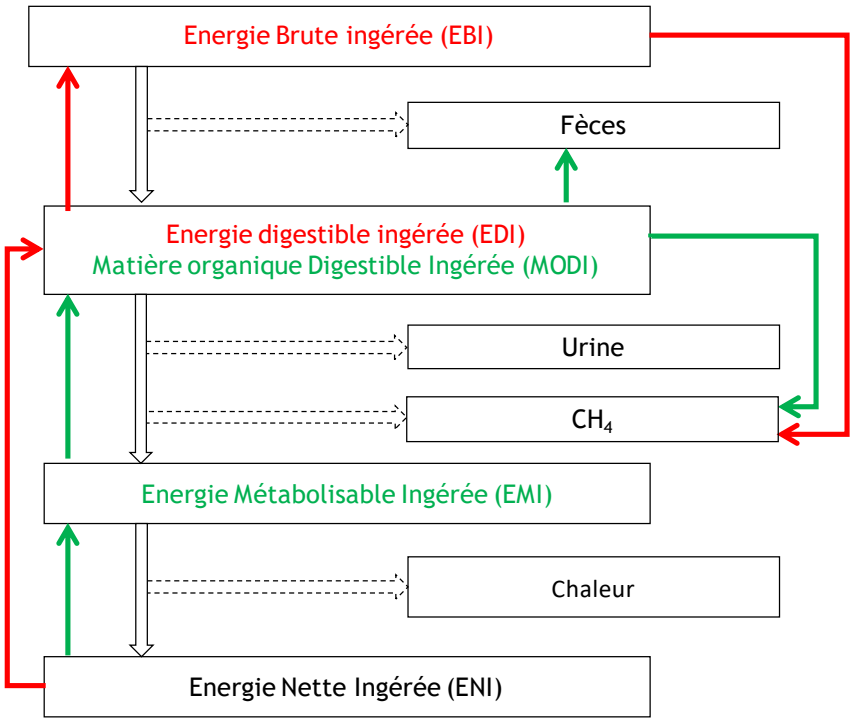
Les données de rationnement moyen à l'échelle nationale [657] combinées avec les caractéristiques moyennes des aliments tirées des tables rouges de l'Inrae [658], permettent également de calculer les quantités de Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI), grâce à un ratio MONDI/MODI calculé par 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 :

$$SV = SVfèces + SVurine, \text{ avec } SVfèces = MONDIfèces \text{ et } SVurine = 0$$

Le schéma suivant illustre les principes de cette méthode (en vert), ainsi que celle proposée par le Giec (en rouge).

Figure 235 : 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].

A4 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.

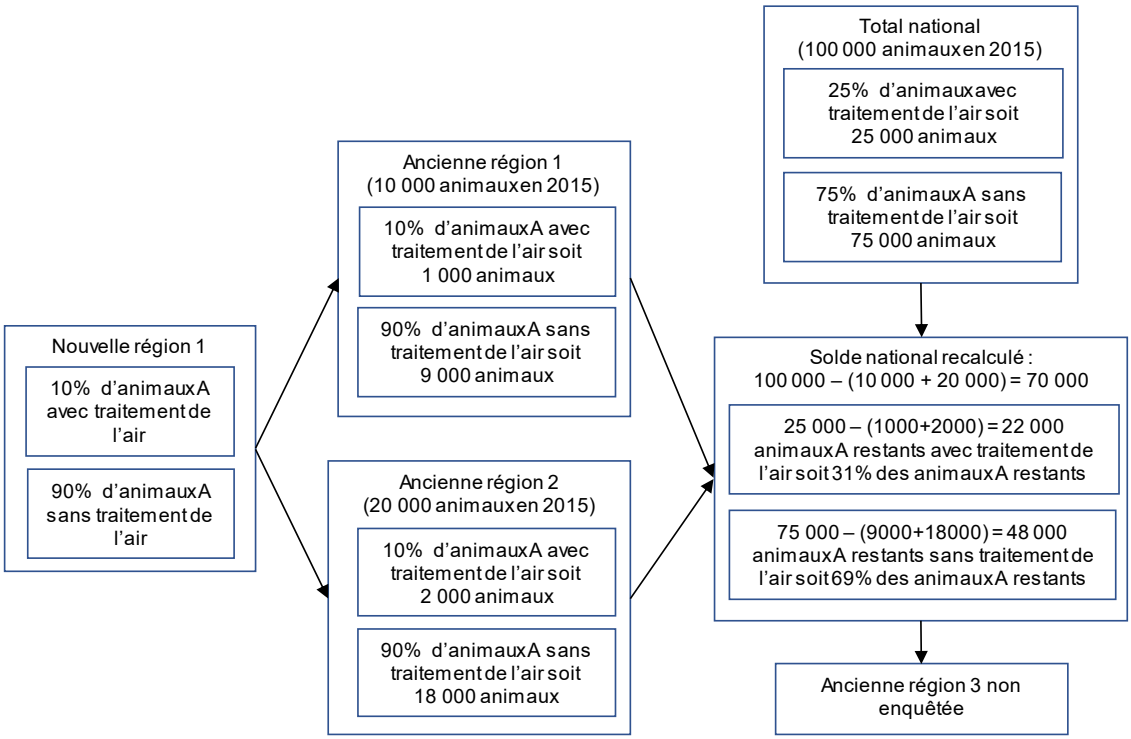
On considère que les pourcentages présentés dans les résultats des enquêtes s'appliquent directement aux effectifs (cheptels) gérés au bâtiment.

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 236 : 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 348 : 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 349 : 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 350 : 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 351 : 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 352 : 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 353 : 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)

10.4.1.1 (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 354 : 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)

10.4.1.2 (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.

10.4.1.3 (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 355. Attribution des taux d'application des différents modes d'épandage sur la période

	1990-2001	2002-2010	2011	2012-2016	2017	2018-2020	2021	2022-2023
Lisiers bovins et porcins	PK 2001 avec application délais PK 2011	Interpolation linéaire 2001-2011	Données PK 2011	Interpolation linéaire 2011-2017	Données PK 2017	Interpolation linéaire 2011-2017	Données PK 2021 grandes cultures + Données PK 2017 prairies	Modèle de parc
Autres effluents liquides	Données PK 2011							
Digestats de méthanisation	Matériel : 100% pendillards Délais : enquêtes PK 2021							
Effluents solides	Données PK 2011			Interpolation linéaire 2011-2017	Données PK 2017			

Le résultat sur l'évolution des épandages par matériel (en kt de TAN) est représenté dans la figure ci-dessous :

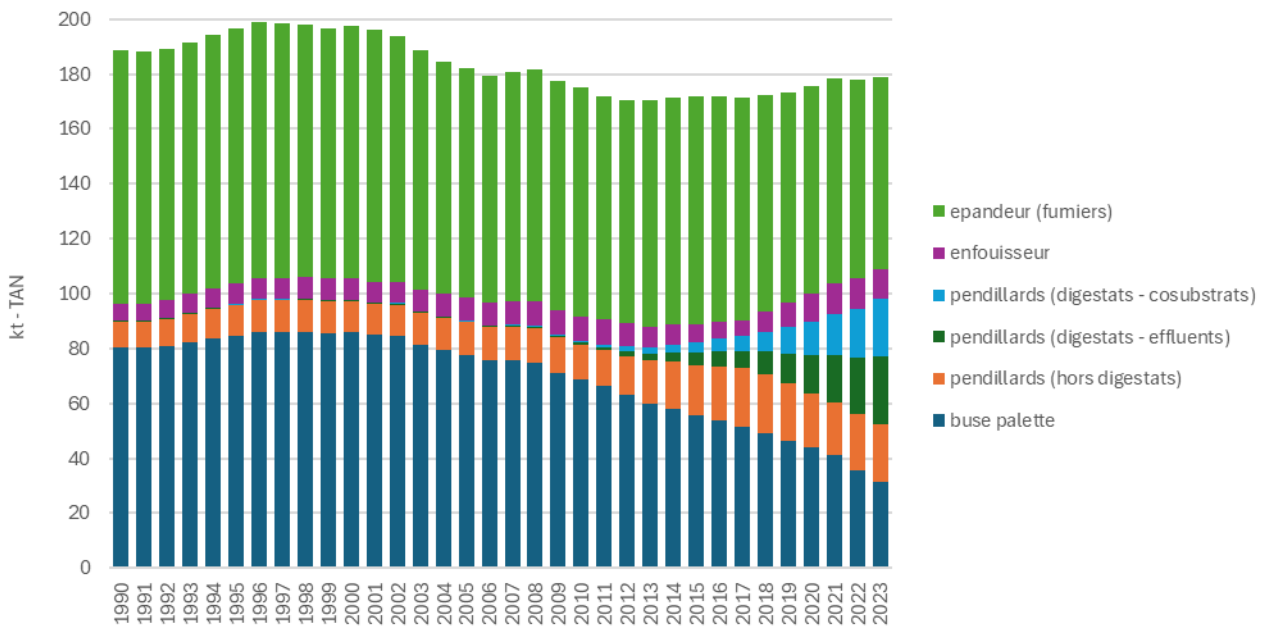


Figure 237. Epandages de TAN selon le matériel d'épandage et le type d'effluents pour les pendillards

A5 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

10.4.1.4 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[48] (41,2 Mt en 2015) ou l'ONRB[49] (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] 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)

[48] [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/

[49] [1323] FranceAgriMer, 2020. L'Observatoire National des Ressources en Biomasse - Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France – édition décembre 2020.

- 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.

10.4.1.4.1 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 356. 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.

10.4.1.4.2 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 357. 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

10.4.1.4.3 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).

10.4.1.4.4 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 358. 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

10.4.1.4.5 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 359. 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

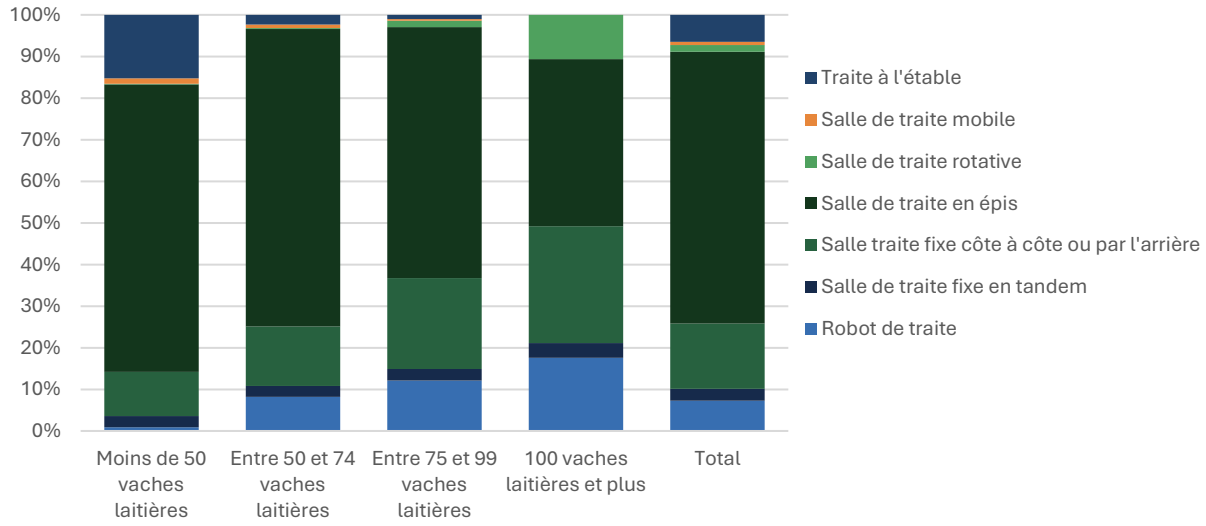


Figure 238. Répartition des élevages selon le type d'équipement des salles de traite – source : [980]

En moyenne on estime donc les consommations d'eau à 8 m^3 / VL / an (5m^3 en eaux vertes et 3m^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.

10.4.1.4.6 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[50] 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.

[50] IFIP, 2014. La consommation d'eau en élevage de porcs - Des leviers pour réduire la consommation d'eau en élevage de porc.

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.

10.4.1.4.7 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 360. 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]
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.

10.4.1.5 Caractéristiques du parc Cuma

10.4.1.5.1 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 361). Au sein du modèle de parc ces références seront converties en une « fonction de voyage » dont une représentation est fournie Figure 239. Dans le modèle de parc il y a donc six fonctions de voyage (une par catégorie de capacité).

Tableau 361. 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

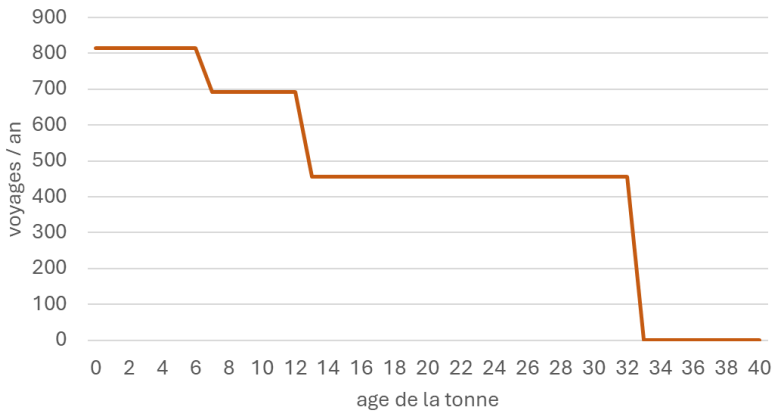


Figure 239. Fonction de voyage pour une tonne à lisier d'une capacité inférieure à 12000 litres

10.4.1.5.2 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 :

$$S(t) = \begin{cases} e^{-(a/20{,}56)^{1{,}52}} & si\ a\ \in\ [0{,}32] \\ 0 & si\ a\ >\ 32 \end{cases}$$

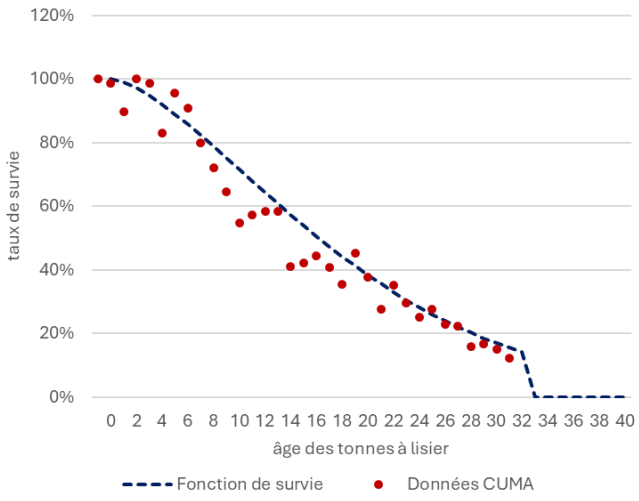


Figure 240. Fonction de survie ajustée aux données Cuma

10.4.1.6 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 362). 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 362. 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.

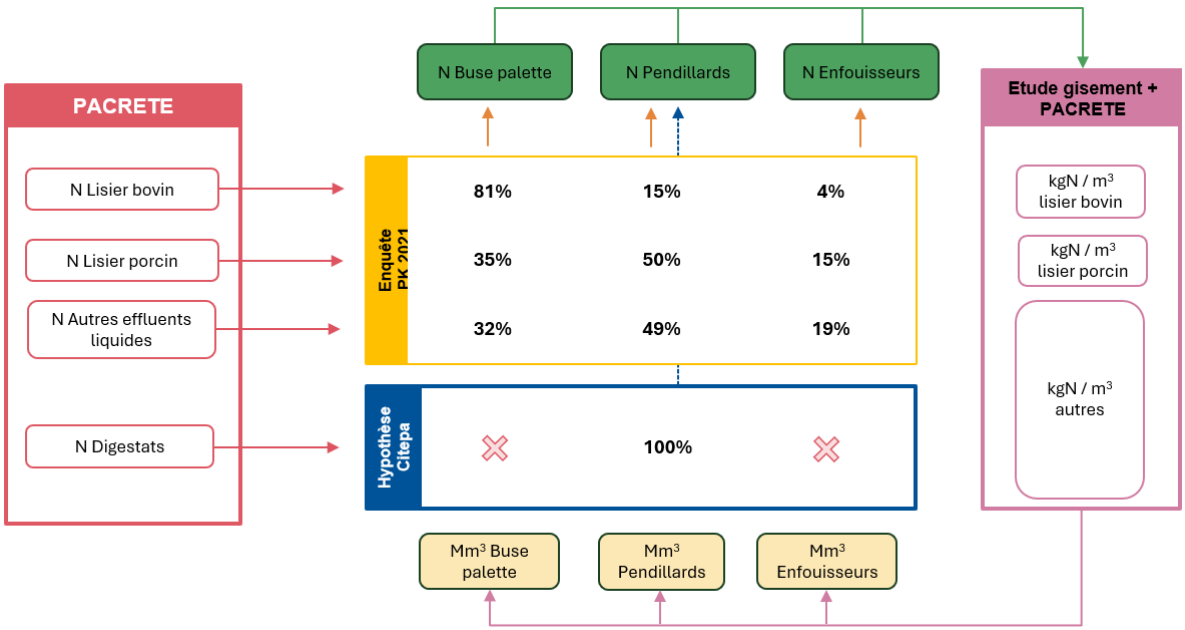


Figure 241. Estimation de la répartition des volumes d'effluents liquides épandus par type de matériel pour l'année 2021

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[51 52 53 54].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 241). 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 242).

[51] https://aida.ineris.fr/reglementation/arrete-101109-relatif-prescriptions-generales-applicables-installations-classees

[52] https://aida.ineris.fr/reglementation/arrete-120810-relatif-prescriptions-generales-applicables-installations-classees

[53] https://aida.ineris.fr/reglementation/arrete-101109-fixant-regles-techniques-auxquelles-doivent-satisfaire-installations

[54] https://fertiliser-avec-des-digestats.fr/les-digestats/reglementation/

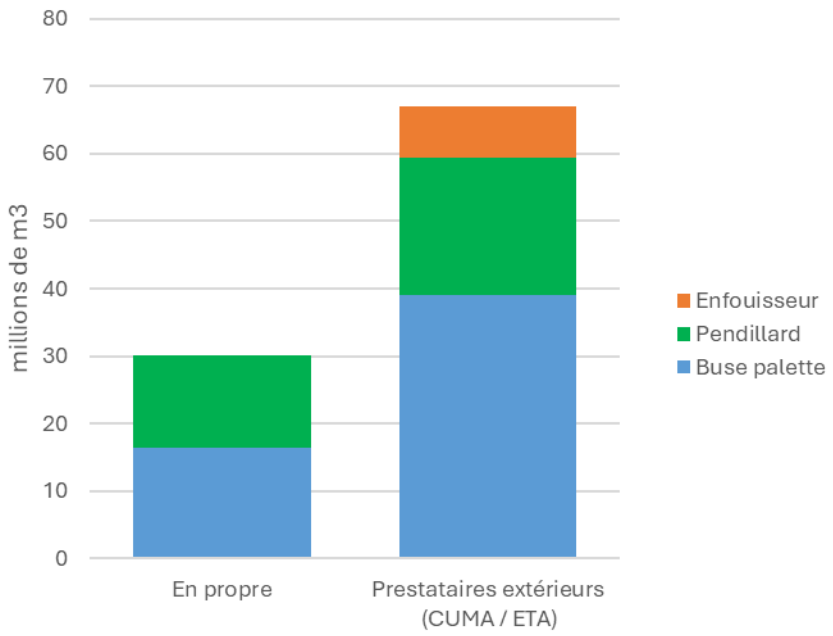


Figure 242. Volume d'effluents liquides épandus en 2021, selon la propriété du matériel – source : Citepa d'après FNCUMA, ETA et étude du gisement

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 363. 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**

10.4.1.7 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 361 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 i ntrouvable.** pour les valeurs des Cuma pour 2021) :

$$\boldsymbol{E(t,e)} = \sum_{\boldsymbol{g,c,a}} \left\{ \boldsymbol{n(t,g,e,c,a)} \times \boldsymbol{V(g,c,a)} \times \frac{\boldsymbol{K(c)}}{\mathbf{1000}} \right\}$$

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 241).

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 :

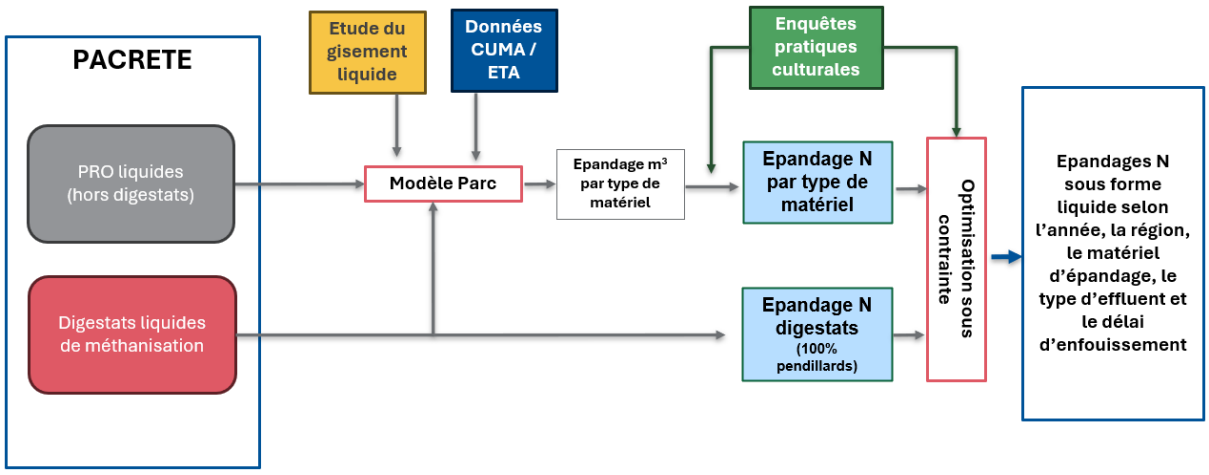


Figure 243. Etapes de calcul pour estimer les modes d'épandages des effluents organiques liquides dans l'inventaire Citepa à partir de l'année 2021.

Tableau 364. 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

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	12001 à 14000	5	18	13 241	750	178 747
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

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	20	11	15 482	456	77 657
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

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	18001 à 21000	25	1	20 000	630	12 600
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

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
pendillard	12001 à 14000	21	1	12 852	436	5 603
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

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
pendillard	18001 à 21000	9	5	20 320	809	82 194
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

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
enfouisseur	12001 à 14000	24	1	13 267	436	5 784
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

A6 Estimation des quantités de matière sèche des résidus de culture

Les quantités de matière sèche des résidus par culture sont nécessaires pour l'estimation de 2 sources d'émissions distinctes :

- Émissions de N_2O liées à la décomposition des résidus de culture, après conversion de la matière sèche en azote,
- Émissions liées au brûlage des résidus de culture.

Les quantités de matière sèche et d'azote des résidus de cultures aériens et racinaires sont estimées à partir de l'équation du Giec 2019 [799] équations 11.6 et 11.7 et du paramètre IR calculé au niveau national. Compte tenu des évolution méthodologiques des lignes directrices 2019, le choix a été fait de s'aligner au maximum sur la notation et les unités utilisées par le Giec pour les variables.

Tableau 366. Équations mobilisées pour le calcul des quantités azotées des résidus de récolte

(e1)	$FCR_{(T)} = \left[AGR_{(T)}.N_{AG(T)}.\left(1 - Frac_{Remove(T)} - \left(Frac_{Burnt(T)}.C_f\right)\right)\right] + \left[BGR_{(T)}.NBG_{(T)}\right]$
(e2)	$BGR_{(T)} = (Crop_{(T)} + AG_{DM(T)}).RS_{(T)}.Area_{(T)}.Frac_{Renew(T)}]$
(e3)	$AG_{DM(T)} = Crop_{(T)}.\ R_{AG(T)}$
(e4)	$Crop_{(T)} = YieldFresh_{(T)}.DRY_{(T)} = \frac{Prod_{(T)}.\ DRY_{(T)}}{Area_{(T)}}$
(e5)	$R_{AG(T)} = \frac{1-IR_{(T)}}{IR_{(T)}}$

Avec pour une culture T :

$FCR_{(T)}$	:	Azote des résidus retournant au sol (kgN/ha)
$AGR_{(T)}$	:	Matière sèche (MS) totale des résidus aériens avant export et brûlage (kgMS)
$N_{AG(T)}$	:	Teneur en azote des résidus aériens (kgN/kgMS)
$Frac_{Remove(T)}$	:	Fraction exportée des résidus aériens (%)
$Frac_{Burnt(T)}$	:	Fraction brûlée des résidus aériens (%)
C_f	:	Facteur de combustion (sans dimension)
$BGR_{(T)}$	:	Matière sèche des résidus racinaires (kgMS)
$NBG_{(T)}$	:	Teneur en azote des résidus racinaires (kgN / kgMS)
$Crop_{(T)}$	:	Rendement matière sèche de la culture T (kgMS / ha)
$AG_{DM(T)}$	:	Matière sèche des résidus aériens (kgMS / ha)
$RS_{(T)}$	:	MS résidus racinaires / MS biomasse aérienne totale (sans dimension)

$Area_{(T)}$	:	Superficie récoltée de la culture T (ha)
$Frac_{Renew(T)}$	:	Part des surfaces renouvelées annuellement (%)
$R_{AG(T)}$	:	MS résidus aériens / MS récoltée : RAG = (1-IR)/IR
$IR_{(T)}$	:	Indice de récolte (MS récoltée / MS biomasse aérienne) : IR = 1/(1+RAG)
$YieldFresh_{(T)}$	:	Rendement moyen de la culture T (kg / ha)
$DRY_{(T)}$	:	Teneur en matière sèche des récoltes (%)
$Prod_{(T)}$	:	Production récoltée de la culture T (en kg)

La méthode développée ci-dessus s'applique aux cultures pour lesquelles sont récoltées les parties aériennes. Dans le cas des betteraves et des pommes de terre, on utilise une quantité de matière sèche et d'azote de résidus aériens par ha pour calculer le FCR, récapitulées dans le tableau à la fin de cette section [486], pour estimer les quantités d'azote et de matière sèche de résidus aériens. En effet, pour ces cultures les résidus de récolte n'augmentent pas avec le rendement racinaire.

$\mathbf{Frac_{Renew(T)}}$

Le paramètre prend la valeur de 1 pour les cultures et 1/x avec x le nombre d'années pendant lesquelles les pâtures ne sont pas renouvelées :

Dans le cas des prairies artificielles et temporaires, le paramètre prend pour valeur 1/3, car les prairies temporaires et artificielles sont censées être implantées pour moins de 6 ans ce qui donne en moyenne des prairies retournées tous les 3 ans, et qui est cohérent avec la fréquence d'implantation de culture de luzernes qui sont renouvelées tous les 3 ou 4 ans en général,

Dans le cas des prairies permanentes (naturelles semées depuis plus de 6 ans et surfaces toujours en herbe peu productive), le paramètre prend la valeur de 1/8. Ce résultat est issu des enquêtes TERUTI [662] et correspond à la durée moyenne de « vie » des prairies permanentes en métropole sur la période 1992-2003.

$AG_{DM(T)}$

Le paramètre « AGDM» (kgMS/ha) est estimé à partir de l'indice de récolte IR (fraction des parties aériennes constituée par le grain : MS récoltée / MS biomasse aérienne), de la surface de cultures et des productions (tMS).

$$\mathrm{AG}_{DM(T)} = \mathrm{Crop}_{(T)}.\ R_{AG(T)} = \left(\frac{Prod_{(T)}\ .\ DRY_{(T)}}{Area_{(T)}}\right) \times \left(\frac{1-IR_{(T)}}{IR_{(T)}}\right)$$

Pour le colza, l'équation du Cetiom a été utilisée afin d'estimer la valeur de ce paramètre [486]. L'équation est rapportée ci-dessous car celle présentée dans le rapport présente une erreur d'unité :

Résidus aériens (tonnes MS) = 0,0011 x Rendement MS (kg MS/ha) + 4,754

Pour les prairies et fourrages annuels (hors maïs) les équations des lignes directrices du Giec 2019 ont été mobilisées (table 11.2 p 11.19).

$AGR_{(T)}$

Le paramètre « AGR(T) » (kgMS) est déduit des données de surfaces et du paramètre AGDM selon l'équation suivante :

$$AGR_{(T)} = AG_{DM(T)}.\ Area_{(T)}$$

Nous avons exclu le paramètre FracRenew dans l'équation ce qui n'a pas d'impact sur les cultures annuelles (FracRenew = 1). Pour tous les types de prairies en revanche (FracRenew < 1), cela implique que la fraction aérienne non prélevée par pâturage ou récolte est rendue disponible chaque année au sol, et contribue ainsi aux émissions. En effet, l'équation des lignes directrices du Giec 2019 n'est plus explicite sur le calcul du AGR(T) notamment concernant l'ajout du paramètre FracRenew alors qu'il l'est pour le BGR(T). La pratique conservatrice consiste ainsi à retenir le calcul conduisant aux émissions les plus élevées afin d'éviter une sous-estimation de celles-ci.

$$\boldsymbol{Prod_{(T)}}$$

Les données de productions sont issues de la SAA [410]. Les tableaux suivants représentent l'évolution des productions pour 18 catégories de cultures, regroupant les 40 cultures étudiées dans l'inventaire, en kilotonnes (kt).

Tableau 367 : Évolutions des productions de céréales et oléagineux (kt) – France hexagonale

	Blé	Orge	Maïs	Riz	Autres céréales	Colza	Tournesol	Soja, Lin et autres oléagineux
1990	33 337	9 969	9 381	122	2 248	1 975	2 324	259
1991	34 362	10 603	12 797	115	2 355	2 292	2 611	167
1992	32 491	10 435	14 823	128	2 572	1 854	2 143	88
1993	29 200	8 909	14 726	131	2 424	1 586	1 733	165
1994	30 493	7 566	12 816	129	2 155	1 829	2 132	323
1995	30 870	7 590	12 584	127	2 097	2 703	2 017	287
1996	35 935	9 404	14 319	120	2 460	2 878	2 049	242
1997	33 862	10 004	16 535	127	2 484	3 443	2 044	277
1998	39 801	10 431	14 885	114	2 690	3 690	1 759	293
1999	36 951	9 376	15 355	110	2 447	4 392	1 931	300
2000	37 344	9 716	15 977	115	2 494	3 476	1 833	236
2001	31 532	9 793	16 355	102	2 349	2 873	1 586	332
2002	38 888	10 956	16 309	104	3 145	3 318	1 495	225
2003	30 303	9 833	12 155	105	2 459	3 366	1 513	158
2004	39 615	11 011	16 375	113	3 212	3 998	1 456	160
2005	36 797	10 289	13 877	100	3 024	4 529	1 508	167
2006	35 267	10 372	13 033	92	2 883	4 145	1 437	167
2007	32 657	9 435	14 482	86	2 529	4 690	1 309	121
2008	38 860	12 110	16 152	103	2 896	4 716	1 595	80
2009	38 186	12 831	15 678	126	3 277	5 586	1 716	138
2010	38 023	10 046	14 247	111	3 158	4 811	1 636	189
2011	36 015	8 780	16 241	129	2 985	5 369	1 872	172
2012	37 890	11 343	15 714	124	3 419	5 466	1 586	147

2013	38 617	10 311	15 260	80	3 217	4 368	1 572	151
2014	38 972	11 723	18 800	83	3 279	5 524	1 584	273
2015	42 787	13 096	14 117	80	3 021	5 336	1 191	398
2016	29 285	10 439	11 975	80	2 459	4 743	1 170	394
2017	38 653	12 087	14 701	90	3 061	5 317	1 594	490
2018	35 833	11 173	12 915	72	2 680	4 981	1 235	459
2019	41 083	13 725	13 135	84	3 222	3 523	1 294	487
2020	30 536	10 398	13 893	77	2 845	3 290	1 608	481
2021	36 990	11 455	15 546	66	3 574	3 307	1 913	528
2022	35 040	11 418	11 010	66	3 087	4 517	1 798	445
2023	36 419	12 286	12 993	69	3 218	4 277	2 061	466
2024	26 920	9 783	14 843	73	2 565	3 941	1 480	465

Tableau 368 : Évolutions des productions de protéagineux, tubercules, fourrages et herbe (kt) – France hexagonale

	Pois	Autres protéagineux	Betteraves	Pomme de terre	Fourrages	Prairies artificielles	Prairies temporaires	Prairies naturelles*	STH peu productives
1990	3 597	96	31 675	4 723	19 101	4 126	12 888	37 631	3 146
1991	3 193	76	29 410	5 407	23 478	4 250	15 154	38 036	3 182
1992	3 259	63	31 534	6 568	25 460	4 952	18 184	48 013	3 772
1993	3 728	65	31 620	5 731	23 544	4 922	18 834	47 279	3 789
1994	3 402	55	28 898	5 377	22 834	4 520	19 475	45 462	3 405
1995	2 776	50	30 342	5 752	21 730	3 984	16 884	39 507	3 178
1996	2 604	48	30 921	6 104	20 499	3 534	15 861	36 085	3 350
1997	3 154	52	34 005	6 513	23 687	3 617	16 933	38 353	3 147
1998	3 349	72	30 790	5 908	21 645	3 708	19 341	40 789	3 345
1999	2 709	89	32 474	6 534	21 982	3 769	21 237	44 323	3 835
2000	1 936	134	31 121	6 462	21 748	3 806	21 751	46 700	3 708
2001	1 653	191	26 839	6 033	22 344	3 444	20 288	41 546	3 393
2002	1 654	347	33 452	6 834	21 586	3 294	21 000	41 218	3 496
2003	1 608	299	29 310	6 302	19 357	2 427	13 732	27 415	2 413
2004	1 673	387	30 763	7 185	20 483	3 200	21 649	43 595	2 954
2005	1 322	390	31 118	6 517	18 273	2 824	17 254	35 869	2 481
2006	1 004	307	29 845	6 280	17 835	2 827	18 849	39 147	2 756
2007	585	257	33 197	7 100	18 978	3 259	25 992	48 032	3 259
2008	441	320	30 294	6 713	19 231	2 935	25 283	44 834	3 078
2009	536	446	35 126	7 027	19 743	2 610	21 574	37 769	2 662
2010	902	623	31 866	6 612	17 829	2 319	19 584	35 181	2 697
2011	564	433	37 941	7 450	20 350	1 987	17 976	31 274	2 672
2012	473	341	33 075	6 384	19 613	2 139	24 828	39 862	3 059
2013	425	300	33 619	6 980	19 976	2 113	23 568	38 908	3 593
2014	456	353	37 832	8 111	22 003	2 286	27 074	42 698	3 976
2015	557	364	33 590	7 171	19 267	2 435	21 018	32 089	3 250
2016	439	323	34 572	7 028	18 241	2 694	19 485	33 968	2 984
2017	629	342	46 298	8 646	21 139	3 025	20 695	35 968	3 295
2018	495	244	39 876	7 979	19 148	3 325	17 074	31 534	3 120
2019	595	300	38 013	8 687	18 509	3 300	16 305	29 772	2 849
2020	559	282	26 163	8 820	18 678	3 575	16 508	31 626	3 420
2021	552	379	34 365	8 976	21 016	5 090	21 997	48 393	4 339
2022	400	336	31 497	8 063	16 450	3 779	14 851	32 622	2 994
2023	485	422	30 581	8 604	20 183	4 734	19 139	41 954	4 367

2024	348	367	32 594	9 235	19 953	6 409	24 192	49 283	5 456

**ou semées depuis plus de 6 ans*

Les statistiques nationales [410] fournissent des productions de grains normalisées, c'est à dire ramenées aux teneurs en humidité commerciales (MH = 1-DRY). Ces productions annuelles en kt sont converties en kt MS grâce au facteur DRY (teneur en matière sèche). Les normes commerciales considérées sont de 15 % M.H. pour le maïs, le blé tendre et l'orge, 14,5 % M.H. pour le sorgho, à 14 % pour le pois et le soja, à 9 % M.H. pour le tournesol et le colza. Pour les fourrages, la statistique agricole fournit les valeurs directement en tonne de matière sèche.

$\boldsymbol{IR_{(T)}}$

Les indice de Récolte (IR) sont fournis par divers organismes techniques ou de recherche nationaux, à partir de nombreuses mesures réalisées in-situ. Lorsque plusieurs données de teneur en matière sèche des résidus étaient disponibles pour une même culture et produites par plusieurs organismes, la référence la plus pertinente a été retenue (la pertinence a été évaluée en fonction de nombreux paramètres, dont le nombre de mesures, et a été validée par le groupe de travail sur les inventaires réunissant l'ensemble des experts nationaux issus des différents Instituts Techniques Agricoles). Ces résultats ont été compilés par le Citepa et publiés dans un document de synthèse [486].

$\boldsymbol{Frac_{Remove(T)}}$ et $\boldsymbol{Frac_{Burnt(T)}}$

Les paramètres AreaBURNT et FracREMOVE sont estimés à partir des données de devenir des résidus de cultures des enquêtes sur les pratiques culturales [485]. Ces enquêtes fournissent des informations par culture sur les surfaces sur lesquels les résidus de cultures sont brûlés et pour lesquelles les résidus de cultures sont exportés.

$\boldsymbol{C_f}$

Les facteurs de combustion Cf proviennent des lignes directrices du Giec 2019 [1229], chapitre 2, Table 2.6 p 2.56

$\mathbf{N_{AG(T)}}$

Le pourcentage d'azote dans la biomasse sèche des résidus aériens (NAG) est estimé à partir de teneurs en azote des résidus fournies par divers organismes techniques ou de recherche nationaux, à partir de nombreuses mesures réalisées in-situ. Lorsque plusieurs données de teneur en azote des résidus étaient disponibles pour une même culture et produites par plusieurs organismes, la référence la plus pertinente a été retenue (la pertinence a été évaluée en fonction de nombreux paramètres dont le nombre de mesures et a été validée par le groupe de travail sur les inventaires réunissant l'ensemble des experts nationaux issus des différents Instituts Techniques Agricoles). Ces résultats ont été compilés par le Citepa et publiés dans un document de synthèse [486]. Pour les prairies les valeurs des lignes directrices Giec 2019 ont été appliquées.

$\boldsymbol{RS_{(T)}}$

Les valeurs prises correspondent aux valeurs par défaut des lignes directrices 2019, Table 11.1A p 11.17 [1229]

$\boldsymbol{NBG_{(T)}}$

Le pourcentage d'azote dans la biomasse sèche des résidus racinaires (NBG) correspond aux valeurs par défaut des lignes directrices 2019 [1229].

Les différents paramètres retenus pour les résidus de culture sont synthétisés dans le tableau suivant. Les données étant spécifiques à 40 cultures différentes, ce tableau fournit des fourchettes par famille de cultures.

	Pois	Autres protéagineux	Betteraves	Pomme de terre	Fourrages	Prairies artificielles	Prairies temporaires	Prairies naturelles *	STH peu productives
1990	3 597	96	31 675	4 723	19 101	4 126	12 888	37 631	3 146
1991	3 193	76	29 410	5 407	23 478	4 250	15 154	38 036	3 182
1992	3 259	63	31 534	6 568	25 460	4 952	18 184	48 013	3 772
1993	3 728	65	31 620	5 731	23 544	4 922	18 834	47 279	3 789
1994	3 402	55	28 898	5 377	22 834	4 520	19 475	45 462	3 405
1995	2 776	50	30 342	5 752	21 730	3 984	16 884	39 507	3 178
1996	2 604	48	30 921	6 104	20 499	3 534	15 861	36 085	3 350
1997	3 154	52	34 005	6 513	23 687	3 617	16 933	38 353	3 147
1998	3 349	72	30 790	5 908	21 645	3 708	19 341	40 789	3 345
1999	2 709	89	32 474	6 534	21 982	3 769	21 237	44 323	3 835
2000	1 936	134	31 121	6 462	21 748	3 806	21 751	46 700	3 708
2001	1 653	191	26 839	6 033	22 344	3 444	20 288	41 546	3 393
2002	1 654	347	33 452	6 834	21 586	3 294	21 000	41 218	3 496
2003	1 608	299	29 310	6 302	19 357	2 427	13 732	27 415	2 413
2004	1 673	387	30 763	7 185	20 483	3 200	21 649	43 595	2 954
2005	1 322	390	31 118	6 517	18 273	2 824	17 254	35 869	2 481
2006	1 004	307	29 845	6 280	17 835	2 827	18 849	39 147	2 756
2007	585	257	33 197	7 100	18 978	3 259	25 992	48 032	3 259
2008	441	320	30 294	6 713	19 231	2 935	25 283	44 834	3 078
2009	536	446	35 126	7 027	19 743	2 610	21 574	37 769	2 662
2010	902	623	31 866	6 612	17 829	2 319	19 584	35 181	2 697
2011	564	433	37 941	7 450	20 350	1 987	17 976	31 274	2 672
2012	473	341	33 075	6 384	19 613	2 139	24 828	39 862	3 059
2013	425	300	33 619	6 980	19 976	2 113	23 568	38 908	3 593
2014	456	353	37 832	8 111	22 003	2 286	27 074	42 698	3 976
2015	557	364	33 590	7 171	19 267	2 435	21 018	32 089	3 250
2016	439	323	34 572	7 028	18 241	2 694	19 485	33 968	2 984
2017	629	342	46 298	8 646	21 139	3 025	20 695	35 968	3 295
2018	495	244	39 876	7 979	19 148	3 325	17 074	31 534	3 120
2019	595	300	38 013	8 687	18 509	3 300	16 305	29 772	2 849
2020	559	282	26 163	8 820	18 678	3 575	16 508	31 626	3 420
2021	552	379	34 365	8 976	21 016	5 090	21 997	48 393	4 339
2022	400	336	31 497	8 063	16 450	3 779	14 851	32 622	2 994
2023	485	422	30 581	8 604	20 183	4 734	19 139	41 954	4 367
2024	348	367	32 594	9 235	19 953	6 409	24 192	49 283	5 456

Tableau 369 : Principaux paramètres retenus pour les calculs associés aux résidus de culture

	Unité	Blé tendre	Maïs grain	Colza	Tournesol	Pois protéagineux	Betteraves industrielles	Pommes de terre
NAG	kgN / kgMS	0,64%	0,91%	0,70%	0,99%	1,35%	2,09%	1,45%
IR	%	49,00%	49,00%		33,33%	58,00%	72,69%	80,00%
RAG	-	1,041	1,041		2,000	0,724	0,376	0,250
DRY	%	85%	85%	91%	91%	86%	23%	22%
Crop	kgMS / ha	6 043	8 525	3 074	2 487	2 460	19 852	9 294
Cf	-	0,9	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
FracBurnt	%	0,40%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,39%	3,09%
FracRemove	%	53,40%	2,60%	8,90%	2,50%	7,60%	11,90%	11,90%
FracRenew	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
NBG	kgN / kgMS	0,009	0,007	0,009	0,009	0,008	0,014	0,014
AGDM	kgMS / ha	6 290	8 873	4 757	4 975	1 782	7 460	2 324

RS	-	0,23	0,22	0,22	0,22	0,19	0,20	0,20
FCR / ha	kgN / ha						140	40

	Unité	Maïs fourrage	Autres fourrages annuels	Prairies artificielles	Prairies temporaires	Prairies naturelles ou semées depuis plus de 6 ans	STH peu productives
NAG	kgN / kgMS	0,60%	1,50%	2,70%	2,50%	2,50%	1,50%
IR	%	90,00%					
RAG	-	0,111					
DRY	%	32%	32%	21%	19%	21%	21%
Crop	kgMS / ha	14 291	4 495	8 410	7 102	5 402	1 195
Cf	-	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
FracBurnt	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FracRemove	%	28,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FracRenew	-	1,00	1,00	0,333	0,333	0,125	0,125
NBG	kgN / kgMS	0,007	0,012	0,019	0,016	0,012	0,012
AGDM	kgMS / ha	1 588	809	2 439	2 131	1 621	358
RS	-	0,22	0,54	0,40	0,80	0,80	0,80
FCR / ha	kgN / ha						

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 2023 (année de comparaison avec l'édition précédente) et l'année 2024 (dernière année de l'exercice courant) :

- pour le périmètre France UE (rapportage selon règlement (UE) 2018/1999 « Gouvernance »),
- puis pour le périmètre France entière (rapportage selon l'accord de Paris).

L'intégralité des tables CRT au titre de la Convention sont disponibles en format électronique sur le site de la CCNUCC :

National Inventory Submissions 2025 | UNFCCC

https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2024

Les résultats suivants concernent la France selon le périmètre France UE, couverture géographique comprenant l'Hexagone et les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO_2 EQUIVALENT EMISSIONS
(Sheet 1 of 1)

Back to Index

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)]	**370 191.05**	**82 593.76**	**55 307.70**	**4 226.21**	**4 684.56**	**NO**	**2 220.90**	**15.43**	**519 239.59**
1. Energy	**352 351.25**	**13 985.03**	**3 099.59**						**369 435.88**
1.A. Fuel combustion	347 989.72	6 580.10	3 076.14						357 645.96
1.A.1. Energy industries	65 821.98	82.22	399.74						66 303.95
1.A.2. Manufacturing industries and construction	63 989.42	100.78	439.82						64 530.03
1.A.3. Transport	121 926.40	1 171.10	896.86						123 994.36
1.A.4. Other sectors	91 787.66	5 222.37	1 308.45						98 318.49
1.A.5. Other	4 464.25	3.63	31.27						4 499.14
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	**42 631.29**	**285.00**	**20 910.10**	**4 226.21**	**4 684.56**	**NO**	**2 220.90**	**15.43**	**74 973.48**
2.A. Mineral industry	14 937.89	NO	NO						14 937.89
2.B. Chemical industry	8 937.21	125.44	20 797.87	4 202.29	1 084.13	NO	133.95	NO	35 280.89
2.C. Metal industry	17 679.11	157.77	NO	NO	3 210.98	NO	742.71	NO	21 790.56
2.D. Non-energy products from fuels and solvent use	1 047.23	1.79	1.37						1 050.39
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	NO	NO	NO	NO	IE,NO
2.G. Other product manufacture and use	29.81	NO	110.86	NO	205.94	NO	1 287.01	NO	1 633.63
2.H. Other	0.04	NA,NO	NA,NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.04
3. Agriculture	**1 904.74**	**53 734.13**	**26 682.32**						**82 321.19**
3.A. Enteric fermentation		46 778.83							46 778.83
3.B. Manure management		6 799.96	3 854.72						10 654.68
3.C. Rice cultivation		76.47							76.47
3.D. Agricultural soils			22 808.25						22 808.25
3.E. Prescribed burning of savannahs		NO	NO						NO
3.F. Field burning of agricultural residues		78.87	19.35						98.22
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
4. Land use, land-use change and forestry [(1)]	**-28 806.47**	**653.75**	**2 104.96**						**-26 047.76**
4.A. Forest land	-52 072.04	168.90	88.84						-51 814.29
4.B. Cropland	24 818.02	156.76	1 666.32						26 641.11
4.C. Grassland	-4 587.16	245.94	64.54						-4 276.68
4.D. Wetlands	745.42	9.49	7.30						762.21
4.E. Settlements	6 678.84	70.61	264.57						7 014.02
4.F. Other land	279.01	2.04	13.39						294.44
4.G. Harvested wood products	-4 668.57								-4 668.57
4.H. Other	NA,NO	NA,NO	NA						NA,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)*						**NO**	**NO**	**NO**	**NO**

Memo items: [(3)]									
1.D.1. International bunkers	15 436.30	20.19	109.02						15 565.51
1.D.1.a. Aviation	9 354.07	4.81	67.46						9 426.34
1.D.1.b. Navigation	6 082.23	15.37	41.56						6 139.17
1.D.2. Multilateral operations	0.67	NE	NE						0.67
1.D.3. CO_2 emissions from biomass	44 107.63								44 107.63
1.D.4. CO_2 captured	NO								NO
5.F.1. Long-term storage of C in waste disposal sites									
Indirect N_2O									

Indirect CO_2 [(4)]	1 657.15								

Total CO_2 equivalent emissions without LULUCF	**545 287.35**
Total CO_2 equivalent emissions with LULUCF	**519 239.59**
Total CO_2 equivalent emissions, including indirect CO_2, without LULUCF	**546 944.51**
Total CO_2 equivalent emissions, including indirect CO_2, with LULUCF	**520 896.75**

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO_2 EQUIVALENT EMISSIONS
(Sheet 1 of 1)

Back to Index

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)]	**237 286.29**	**61 822.99**	**29 095.52**	**9 397.71**	**224.10**	**NO**	**374.31**	**11.62**	**338 212.54**
1. Energy	**250 453.47**	**3 319.15**	**3 379.57**						**257 152.19**
1.A. Fuel combustion	248 830.71	2 509.47	3 372.39						254 712.56
1.A.1. Energy industries	33 460.75	40.18	228.38						33 729.31
1.A.2. Manufacturing industries and construction	35 831.12	80.86	671.70						36 583.68
1.A.3. Transport	122 389.68	165.74	1 204.90						123 760.32
1.A.4. Other sectors	55 019.64	2 219.42	1 256.40						58 495.46
1.A.5. Other	2 129.51	3.28	11.01						2 143.81
1.B. Fugitive emissions from fuels	1 622.76	809.68	7.18						2 439.62
1.B.1. Solid fuels	NA,NO	12.51	NE,NO						12.51
1.B.2. Oil and natural gas and other emissions from energy production	1 622.76	797.17	7.18						2 427.12
1.C. CO_2 transport and storage	NA,NO								NA,NO
2. Industrial processes and product use	**24 219.34**	**52.15**	**410.94**	**9 397.71**	**224.10**	**NO**	**374.31**	**11.62**	**34 690.16**
2.A. Mineral industry	8 032.65	NO	NO						8 032.65
2.B. Chemical industry	5 920.66	31.43	276.94	19.14	NO	NO	70.31	NO	6 318.50
2.C. Metal industry	9 432.67	20.41	NO	NO	25.75	NO	1.97	NO	9 480.80
2.D. Non-energy products from fuels and solvent use	830.49	0.31	2.38						833.18
2.E. Electronic Industry			NO	1.01	36.71	NO	4.29	11.62	53.64
2.F. Product uses as ODS substitutes				9 376.41	NO	NO	NO	NO	9 376.41
2.G. Other product manufacture and use	2.76	NO	131.61	1.14	161.64	NO	297.73	NO	594.89
2.H. Other	0.09	NA,NO	NA,NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.09
3. Agriculture	**2 212.65**	**43 389.13**	**21 756.87**						**67 358.66**
3.A. Enteric fermentation		36 885.24							36 885.24
3.B. Manure management		6 443.87	2 762.16						9 206.02
3.C. Rice cultivation		43.28							43.28
3.D. Agricultural soils			18 990.61						18 990.61
3.E. Prescribed burning of savannahs		NO	NO						NO
3.F. Field burning of agricultural residues		16.75	4.11						20.86
3.G. Liming	885.08								885.08
3.H. Urea application	1 172.65								1 172.65
3.I. Other carbon-containing fertilizers	154.92								154.92
3.J. Other	NO								NO
4. Land use, land-use change and forestry [(1)]	**-40 943.04**	**784.46**	**928.38**						**-39 230.20**
4.A. Forest land	-62 955.73	57.78	29.72						-62 868.23
4.B. Cropland	15 108.77	173.74	547.91						15 830.42
4.C. Grassland	-1 332.73	232.29	63.26						-1 037.18
4.D. Wetlands	1 163.91	10.60	48.97						1 223.48
4.E. Settlements	6 531.64	63.38	225.03						6 820.05
4.F. Other land	348.06	2.72	13.50						364.28
4.G. Harvested wood products	166.62								166.62
4.H. Other	26.42	243.94	NA						270.35
5. Waste	**1 343.88**	**14 278.09**	**2 619.76**						**18 241.73**
5.A. Solid waste disposal		11 667.55							11 667.55
5.B. Biological treatment of solid waste		654.21	179.43						833.64
5.C. Incineration and open burning of waste	1 343.88	79.18	55.08						1 478.14
5.D. Waste water treatment and discharge		1 877.14	2 385.25						4 262.39
5.E. Other	NO	NO	NO						NO
6. Other *(as specified in summary 1)*						**NO**	**NO**	**NO**	**NO**

Memo items: [(3)]									
1.D.1. International bunkers	20 215.17	113.39	145.13						20 473.69
1.D.1.a. Aviation	16 574.99	1.57	119.71						16 696.27
1.D.1.b. Navigation	3 640.18	111.82	25.42						3 777.42
1.D.2. Multilateral operations	0.48	NE	NE						0.48
1.D.3. CO_2 emissions from biomass	69 503.99								69 503.99
1.D.4. CO_2 captured	NO								NO
5.F.1. Long-term storage of C in waste disposal sites									
Indirect N_2O									

Indirect CO_2 [(4)]	785.84								

Total CO_2 equivalent emissions without LULUCF	**377 442.74**
Total CO_2 equivalent emissions with LULUCF	**338 212.54**
Total CO_2 equivalent emissions, including indirect CO_2, without LULUCF	**378 228.58**
Total CO_2 equivalent emissions, including indirect CO_2, with LULUCF	**338 998.37**

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO_2 EQUIVALENT EMISSIONS
(Sheet 1 of 1)

Back to Index

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)]	**226 266.53**	**61 016.05**	**28 723.09**	**8 527.05**	**233.94**	**NO**	**279.74**	**10.89**	**325 057.29**
1. Energy	**242 142.83**	**3 115.11**	**3 375.51**						**248 633.45**
1.A. Fuel combustion	240 628.92	2 407.53	3 369.06						246 405.50
1.A.1. Energy industries	28 323.77	32.93	181.41						28 538.11
1.A.2. Manufacturing industries and construction	34 586.45	88.24	738.88						35 413.57
1.A.3. Transport	121 012.62	163.38	1 180.44						122 356.44
1.A.4. Other sectors	54 587.48	2 119.71	1 257.37						57 964.56
1.A.5. Other	2 118.60	3.27	10.96						2 132.82
1.B. Fugitive emissions from fuels	1 513.91	707.58	6.45						2 227.94
1.B.1. Solid fuels	NA,NO	18.08	NE,NO						18.08
1.B.2. Oil and natural gas and other emissions from energy production	1 513.91	689.50	6.45						2 209.86
1.C. CO_2 transport and storage	NA,NO								NA,NO
2. Industrial processes and product use	**23 457.38**	**46.38**	**341.01**	**8 527.05**	**233.94**	**NO**	**279.74**	**10.89**	**32 896.40**
2.A. Mineral industry	7 816.66	NO	NO						7 816.66
2.B. Chemical industry	6 079.35	27.88	203.35	12.33	NO	NO	56.15	NO	6 379.07
2.C. Metal industry	8 772.75	18.19	NO	NO	30.45	NO	NO	NO	8 821.39
2.D. Non-energy products from fuels and solvent use	786.20	0.31	2.54						789.05
2.E. Electronic Industry			NO	0.89	48.19	NO	3.95	10.89	63.93
2.F. Product uses as ODS substitutes				8 512.78	NO	NO	NO	NO	8 512.78
2.G. Other product manufacture and use	2.35	NO	135.12	1.05	155.30	NO	219.64	NO	513.46
2.H. Other	0.07	NA,NO	NA,NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.07
3. Agriculture	**2 242.64**	**43 008.29**	**21 519.06**						**66 769.99**
3.A. Enteric fermentation		36 545.16							36 545.16
3.B. Manure management		6 398.13	2 728.88						9 127.01
3.C. Rice cultivation		48.14							48.14
3.D. Agricultural soils			18 786.04						18 786.04
3.E. Prescribed burning of savannahs		NO	NO						NO
3.F. Field burning of agricultural residues		16.86	4.14						21.00
3.G. Liming	900.89								900.89
3.H. Urea application	1 195.84								1 195.84
3.I. Other carbon-containing fertilizers	145.91								145.91
3.J. Other	NO								NO
4. Land use, land-use change and forestry [(1)]	**-42 810.92**	**768.96**	**860.98**						**-41 180.98**
4.A. Forest land	-64 324.24	50.42	25.91						-64 247.91
4.B. Cropland	13 914.12	171.16	483.46						14 568.73
4.C. Grassland	-932.56	225.46	61.01						-646.09
4.D. Wetlands	1 167.37	10.36	50.75						1 228.49
4.E. Settlements	6 612.19	64.99	225.89						6 903.07
4.F. Other land	354.89	2.70	13.96						371.55
4.G. Harvested wood products	374.27								374.27
4.H. Other	23.04	243.86	NA						266.90
5. Waste	**1 234.59**	**14 077.30**	**2 626.53**						**17 938.43**
5.A. Solid waste disposal		11 425.03							11 425.03
5.B. Biological treatment of solid waste		654.18	179.10						833.29
5.C. Incineration and open burning of waste	1 234.59	83.91	55.43						1 373.93
5.D. Waste water treatment and discharge		1 914.19	2 392.00						4 306.19
5.E. Other	NO	NO	NO						NO
6. Other *(as specified in summary 1)*						**NO**	**NO**	**NO**	**NO**

Memo items: [(3)]									
1.D.1. International bunkers	21 963.01	133.89	157.75						22 254.66
1.D.1.a. Aviation	17 975.68	1.56	129.85						18 107.09
1.D.1.b. Navigation	3 987.33	132.34	27.90						4 147.57
1.D.2. Multilateral operations	0.30	NE	NE						0.30
1.D.3. CO_2 emissions from biomass	73 501.01								73 501.01
1.D.4. CO_2 captured	NO								NO
5.F.1. Long-term storage of C in waste disposal sites									
Indirect N_2O									

Indirect CO_2 [(4)]	780.41								

Total CO_2 equivalent emissions without LULUCF	**366 238.27**
Total CO_2 equivalent emissions with LULUCF	**325 057.29**
Total CO_2 equivalent emissions, including indirect CO_2, without LULUCF	**367 018.68**
Total CO_2 equivalent emissions, including indirect CO_2, with LULUCF	**325 837.70**

(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.

Les résultats suivants concernent la France selon le périmètre France entière, couverture géographique comprenant l'Hexagone et l'ensemble des territoires d'Outre-mer :

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO_2 EQUIVALENT EMISSIONS
(Sheet 1 of 1)

Back to Index

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)]	**372 798.25**	**83 132.66**	**55 499.76**	**4 226.21**	**4 684.56**	**NO**	**2 224.36**	**15.43**	**522 581.22**
1. Energy	**354 692.32**	**13 996.83**	**3 111.92**						**371 801.07**
1.A. Fuel combustion	350 330.78	6 591.90	3 088.47						360 011.15
1.A.1. Energy industries	66 063.84	82.73	401.21						66 547.78
1.A.2. Manufacturing industries and construction	64 944.13	102.17	442.17						65 488.48
1.A.3. Transport	122 953.13	1 180.66	904.69						125 038.47
1.A.4. Other sectors	91 905.43	5 222.71	1 309.13						98 437.28
1.A.5. Other	4 464.25	3.63	31.27						4 499.14
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	**42 841.11**	**285.02**	**20 910.85**	**4 226.21**	**4 684.56**	**NO**	**2 224.36**	**15.43**	**75 187.53**
2.A. Mineral industry	14 937.89	NO	NO						14 937.89
2.B. Chemical industry	8 937.21	125.44	20 797.87	4 202.29	1 084.13	NO	133.95	NO	35 280.89
2.C. Metal industry	17 885.08	157.77	NO	NO	3 210.98	NO	742.71	NO	21 996.54
2.D. Non-energy products from fuels and solvent use	1 051.07	1.81	1.38						1 054.26
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	NO	NO	NO	NO	IE,NO
2.G. Other product manufacture and use	29.81	NO	111.60	NO	205.94	NO	1 290.47	NO	1 637.83
2.H. Other	0.04	NA,NO	NA,NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.04
3. Agriculture	**1 904.74**	**54 032.00**	**26 814.14**						**82 750.88**
3.A. Enteric fermentation		47 004.34							47 004.34
3.B. Manure management		6 872.32	3 885.30						10 757.62
3.C. Rice cultivation		76.47							76.47
3.D. Agricultural soils			22 909.49						22 909.49
3.E. Prescribed burning of savannahs		NO	NO						NO
3.F. Field burning of agricultural residues		78.87	19.35						98.22
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
4. Land use, land-use change and forestry [(1)]	**-28 750.14**	**726.26**	**2 146.10**						**-25 877.78**
4.A. Forest land	-51 140.25	241.42	129.98						-50 768.86
4.B. Cropland	24 818.02	156.76	1 666.32						26 641.11
4.C. Grassland	-5 462.61	245.94	64.54						-5 152.13
4.D. Wetlands	745.42	9.49	7.30						762.21
4.E. Settlements	6 678.84	70.61	264.57						7 014.02
4.F. Other land	279.01	2.04	13.39						294.44
4.G. Harvested wood products	-4 668.57								-4 668.57
4.H. Other	NA,NO	NA,NO	NA						NA,NO
5. Waste	**2 110.24**	**14 092.55**	**2 516.74**						**18 719.53**
5.A. Solid waste disposal		12 560.60							12 560.60
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		1 365.97	2 305.24						3 671.21
5.E. Other	NO	NO	NO						NO
6. Other *(as specified in summary 1)*						**NO**	**NO**	**NO**	**NO**

Memo items: [(3)]									
1.D.1. International bunkers	15 803.95	20.51	111.67						15 936.13
1.D.1.a. Aviation	9 622.41	4.88	69.39						9 696.69
1.D.1.b. Navigation	6 181.54	15.63	42.27						6 239.44
1.D.2. Multilateral operations	0.67	NE	NE						0.67
1.D.3. CO_2 emissions from biomass	44 112.32								44 112.32
1.D.4. CO_2 captured	NO								NO
5.F.1. Long-term storage of C in waste disposal sites									
Indirect N_2O									

Indirect CO_2 [(4)]	1 659.11								

Total CO_2 equivalent emissions without LULUCF	**548 459.00**
Total CO_2 equivalent emissions with LULUCF	**522 581.22**
Total CO_2 equivalent emissions, including indirect CO_2, without LULUCF	**550 118.11**
Total CO_2 equivalent emissions, including indirect CO_2, with LULUCF	**524 240.33**

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO_2 EQUIVALENT EMISSIONS
(Sheet 1 of 1)

Back to Index

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)]	**244 086.16**	**62 515.39**	**29 285.41**	**9 651.01**	**224.10**	**NO**	**375.59**	**11.62**	**346 149.28**
1. Energy	**255 944.46**	**3 329.81**	**3 405.42**						**262 679.70**
1.A. Fuel combustion	254 321.70	2 520.13	3 398.24						260 240.08
1.A.1. Energy industries	34 127.21	41.19	231.92						34 400.32
1.A.2. Manufacturing industries and construction	39 288.09	87.96	682.62						40 058.66
1.A.3. Transport	123 660.90	168.05	1 215.24						125 044.19
1.A.4. Other sectors	55 115.99	2 219.65	1 257.46						58 593.10
1.A.5. Other	2 129.51	3.28	11.01						2 143.81
1.B. Fugitive emissions from fuels	1 622.76	809.68	7.18						2 439.62
1.B.1. Solid fuels	NA,NO	12.51	NE,NO						12.51
1.B.2. Oil and natural gas and other emissions from energy production	1 622.76	797.17	7.18						2 427.12
1.C. CO_2 transport and storage	NA,NO								NA,NO
2. Industrial processes and product use	**25 111.09**	**52.15**	**412.06**	**9 651.01**	**224.10**	**NO**	**375.59**	**11.62**	**35 837.63**
2.A. Mineral industry	8 032.65	NO	NO						8 032.65
2.B. Chemical industry	5 920.66	31.43	276.94	19.14	NO	NO	70.31	NO	6 318.50
2.C. Metal industry	10 321.50	20.41	NO	NO	25.75	NO	1.97	NO	10 369.63
2.D. Non-energy products from fuels and solvent use	833.42	0.32	2.40						836.13
2.E. Electronic Industry			NO	1.01	36.71	NO	4.29	11.62	53.64
2.F. Product uses as ODS substitutes				9 629.71	NO	NO	NO	NO	9 629.71
2.G. Other product manufacture and use	2.76	NO	132.72	1.14	161.64	NO	299.01	NO	597.28
2.H. Other	0.09	NA,NO	NA,NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.09
3. Agriculture	**2 212.65**	**43 582.97**	**21 854.47**						**67 650.09**
3.A. Enteric fermentation		37 018.27							37 018.27
3.B. Manure management		6 504.67	2 781.20						9 285.86
3.C. Rice cultivation		43.28							43.28
3.D. Agricultural soils			19 069.16						19 069.16
3.E. Prescribed burning of savannahs		NO	NO						NO
3.F. Field burning of agricultural residues		16.75	4.11						20.86
3.G. Liming	885.08								885.08
3.H. Urea application	1 172.65								1 172.65
3.I. Other carbon-containing fertilizers	154.92								154.92
3.J. Other	NO								NO
4. Land use, land-use change and forestry [(1)]	**-40 525.93**	**877.45**	**981.13**						**-38 667.35**
4.A. Forest land	-61 679.84	150.77	82.47						-61 446.60
4.B. Cropland	15 108.77	173.74	547.91						15 830.42
4.C. Grassland	-2 191.51	232.29	63.26						-1 895.96
4.D. Wetlands	1 163.91	10.60	48.97						1 223.48
4.E. Settlements	6 531.64	63.38	225.03						6 820.05
4.F. Other land	348.06	2.72	13.50						364.28
4.G. Harvested wood products	166.62								166.62
4.H. Other	26.42	243.94	NA						270.35
5. Waste	**1 343.88**	**14 673.01**	**2 632.33**						**18 649.21**
5.A. Solid waste disposal		11 998.39							11 998.39
5.B. Biological treatment of solid waste		657.27	179.92						837.19
5.C. Incineration and open burning of waste	1 343.88	79.18	55.08						1 478.14
5.D. Waste water treatment and discharge		1 938.16	2 397.33						4 335.48
5.E. Other	NO	NO	NO						NO
6. Other *(as specified in summary 1)*						**NO**	**NO**	**NO**	**NO**

Memo items: [(3)]									
1.D.1. International bunkers	20 641.82	113.73	148.16						20 903.71
1.D.1.a. Aviation	16 875.36	1.59	121.87						16 998.82
1.D.1.b. Navigation	3 766.46	112.14	26.29						3 904.89
1.D.2. Multilateral operations	0.48	NE	NE						0.48
1.D.3. CO_2 emissions from biomass	69 512.35								69 512.35
1.D.4. CO_2 captured	NO								NO
5.F.1. Long-term storage of C in waste disposal sites									
Indirect N_2O									

Indirect CO_2 [(4)]	788.45								

Total CO_2 equivalent emissions without LULUCF	**384 816.63**
Total CO_2 equivalent emissions with LULUCF	**346 149.28**
Total CO_2 equivalent emissions, including indirect CO_2, without LULUCF	**385 605.08**
Total CO_2 equivalent emissions, including indirect CO_2, with LULUCF	**346 937.73**

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO_2 EQUIVALENT EMISSIONS
(Sheet 1 of 1)

Back to Index

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]	**230 658.58**	**61 707.74**	**28 911.55**	**8 783.45**	**233.94**	**NO**	**280.40**	**10.89**	**330 586.55**
1. Energy	**245 601.31**	**3 121.09**	**3 393.30**						**252 115.70**
1.A. Fuel combustion	244 087.40	2 413.51	3 386.85						249 887.76
1.A.1. Energy industries	28 953.98	33.89	184.74						29 172.60
1.A.2. Manufacturing industries and construction	36 166.79	90.93	743.22						37 000.95
1.A.3. Transport	122 161.08	165.47	1 189.57						123 516.12
1.A.4. Other sectors	54 686.95	2 119.95	1 258.36						58 065.27
1.A.5. Other	2 118.60	3.27	10.96						2 132.82
1.B. Fugitive emissions from fuels	1 513.91	707.58	6.45						2 227.94
1.B.1. Solid fuels	NA,NO	18.08	NE,NO						18.08
1.B.2. Oil and natural gas and other emissions from energy production	1 513.91	689.50	6.45						2 209.86
1.C. CO_2 transport and storage	NA,NO								NA,NO
2. Industrial processes and product use	**23 889.63**	**46.39**	**342.16**	**8 783.45**	**233.94**	**NO**	**280.40**	**10.89**	**33 586.86**
2.A. Mineral industry	7 816.66	NO	NO						7 816.66
2.B. Chemical industry	6 079.35	27.88	203.35	12.33	NO	NO	56.15	NO	6 379.07
2.C. Metal industry	9 202.20	18.19	NO	NO	30.45	NO	NO	NO	9 250.84
2.D. Non-energy products from fuels and solvent use	789.00	0.31	2.56						791.87
2.E. Electronic Industry			NO	0.89	48.19	NO	3.95	10.89	63.93
2.F. Product uses as ODS substitutes				8 769.17	NO	NO	NO	NO	8 769.17
2.G. Other product manufacture and use	2.35	NO	136.25	1.05	155.30	NO	220.30	NO	515.25
2.H. Other	0.07	NA,NO	NA,NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.07
3. Agriculture	**2 242.64**	**43 203.08**	**21 620.02**						**67 065.74**
3.A. Enteric fermentation		36 679.19							36 679.19
3.B. Manure management		6 458.89	2 747.92						9 206.81
3.C. Rice cultivation		48.14							48.14
3.D. Agricultural soils			18 867.96						18 867.96
3.E. Prescribed burning of savannahs		NO	NO						NO
3.F. Field burning of agricultural residues		16.86	4.14						21.00
3.G. Liming	900.89								900.89
3.H. Urea application	1 195.84								1 195.84
3.I. Other carbon-containing fertilizers	145.91								145.91
3.J. Other	NO								NO
4. Land use, land-use change and forestry [1]	**-42 309.59**	**867.87**	**917.09**						**-40 524.63**
4.A. Forest land	-62 953.51	149.33	82.02						-62 722.16
4.B. Cropland	13 914.12	171.16	483.46						14 568.73
4.C. Grassland	-1 801.96	225.46	61.01						-1 515.49
4.D. Wetlands	1 167.37	10.36	50.75						1 228.49
4.E. Settlements	6 612.19	64.99	225.89						6 903.07
4.F. Other land	354.89	2.70	13.96						371.55
4.G. Harvested wood products	374.27								374.27
4.H. Other	23.04	243.86	NA						266.90
5. Waste	**1 234.59**	**14 469.31**	**2 638.98**						**18 342.88**
5.A. Solid waste disposal		11 753.60							11 753.60
5.B. Biological treatment of solid waste		657.24	179.60						836.84
5.C. Incineration and open burning of waste	1 234.59	83.91	55.43						1 373.93
5.D. Waste water treatment and discharge		1 974.55	2 403.95						4 378.51
5.E. Other	NO	NO	NO						NO
6. Other *(as specified in summary 1)*						**NO**	**NO**	**NO**	**NO**

Memo items: [3]									
1.D.1. International bunkers	22 369.88	134.23	160.64						22 664.75
1.D.1.a. Aviation	18 256.27	1.57	131.88						18 389.72
1.D.1.b. Navigation	4 113.61	132.66	28.77						4 275.03
1.D.2. Multilateral operations	0.30	NE	NE						0.30
1.D.3. CO_2 emissions from biomass	73 509.37								73 509.37
1.D.4. CO_2 captured	NO								NO
5.F.1. Long-term storage of C in waste disposal sites									
Indirect N_2O									

Indirect CO_2 [4]	783.02								

Total CO_2 equivalent emissions without LULUCF	**371 111.19**
Total CO_2 equivalent emissions with LULUCF	**330 586.55**
Total CO_2 equivalent emissions, including indirect CO_2, without LULUCF	**371 894.21**
Total CO_2 equivalent emissions, including indirect CO_2, with LULUCF	**331 369.57**

Annexe 7

Impact par grands secteurs des modifications intervenues depuis la soumission de mars 2025

Les recalculs détaillés sont disponibles dans chaque chapitre sectoriel (chapitres 3 à 9). Les comparaisons sont réalisées entre la soumission de mars 2025 et celle de mars 2026. 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 »).

Tableau 370 : Modifications intervenues dans le secteur de l'énergie (CRT 1) entre la mise à jour de la soumission de mars 2025 et celle de mars 2026 (Périmètre France UE)

OLD	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CO2	kt	351 598	349 593	369 865	380 496	350 040	306 898	310 266	311 744	296 859	291 010	259 630	281 733	272 741	250 807
CH4	kt	499	477	324	247	221	169	173	161	152	147	125	133	118	111
N2O	kt	11	13	13	14	12	13	13	13	12	12	11	12	12	11
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	1 976	1 832	1 684	1 477	1 144	898	848	815	761	700	594	631	600	544
CO	kt	9 403	7 502	5 622	4 465	3 557	2 614	2 671	2 526	2 376	2 295	1 977	2 142	1 952	1 819
NMVOC	kt	1 683	1 356	1 005	766	595	426	424	390	362	345	289	305	265	251
SO2	kt	1 296	952	627	469	278	159	140	134	129	105	90	97	89	80
NH3	kt														

NEW	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CO2	kt	352 351	350 242	370 515	381 096	350 333	306 790	310 480	311 822	296 709	291 028	259 476	281 905	272 190	250 453
CH4	kt	499	477	324	247	218	166	173	163	154	148	130	142	125	119
N2O	kt	12	14	13	14	13	14	14	14	13	13	13	13	13	13
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	1 950	1 773	1 618	1 460	1 129	921	880	847	794	731	623	663	623	564
CO	kt	9 598	7 523	5 627	4 538	3 513	2 590	2 685	2 555	2 412	2 320	2 036	2 266	2 054	1 919
NMVOC	kt	1 703	1 352	1 002	784	584	425	431	403	376	358	307	339	294	282
SO2	kt	1 312	964	639	478	283	161	144	139	135	109	91	98	90	80
NH3	kt														

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ancien	kt CO2e	368 584	366 505	382 392	391 121	359 479	315 003	318 500	319 615	304 359	298 319	266 172	288 607	279 125	256 901
Nouveau	kt CO2e	369 436	367 249	383 103	391 797	359 777	315 081	318 992	320 057	304 568	298 722	266 419	289 387	279 185	257 152
Différence	kt CO2e	+852	+744	+710	+676	+298	+78	+492	+442	+209	+403	+247	+781	+60	+251
	%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0.09%	+0%	+0%	+0%

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /1. Energy

Tableau 371 : Modifications intervenues dans le secteur des procédés industriels (CRT 2) entre la mise à jour de la soumission de mars 2025 et celle de mars 2026 (Périmètre France UE)

OLD	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CO2	kt	44 198	39 722	41 748	41 548	33 715	31 638	31 849	33 217	32 700	31 825	27 558	31 299	28 580	25 437
CH4	kt	10	10	11	8	6	3	3	3	3	3	2	3	2	2
N2O	kt	80	86	40	23	8	4	3	6	4	3	3	2	2	2
HFCs	t CO2 equ	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######
PFCs	t CO2 equ	######	######	######	######	539 724	465 408	580 189	612 625	590 233	538 118	471 589	390 184	322 706	218 531
Unspecified	t CO2 equ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SF6	t	95	109	96	59	41	27	28	26	25	23	22	23	20	16
NF3	t	1	0	1	2	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1
NOx	kt	26	16	16	14	8	8	8	8	8	7	7	7	5	5
CO	kt	765	1 137	802	974	1 029	400	397	435	422	427	339	378	347	290
NMVOC	kt	761	680	684	562	464	395	390	410	391	384	401	379	408	380
SO2	kt	29	22	25	18	10	11	12	11	10	9	9	10	9	8
NH3	kt														

NEW	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CO2	kt	44 288	39 811	41 839	41 599	33 924	31 670	31 858	33 298	32 779	31 849	27 591	31 277	28 471	25 005
CH4	kt	10	10	11	8	6	3	3	3	3	3	2	3	2	2
N2O	kt	79	87	41	23	8	4	3	6	4	3	3	2	2	2
HFCs	O_2 equivalı	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######
PFCs	O_2 equivalı	######	######	######	######	539 724	465 408	580 189	612 625	590 233	538 118	471 589	390 184	322 706	224 102
Unspecified	O_2 equivalı	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SF6	t	95	108	96	60	41	27	28	26	25	23	22	23	20	16
NF3	t	1	0	1	2	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1
NOx	kt	27	17	17	14	9	9	8	8	8	8	7	7	5	5
CO	kt	766	1 137	802	974	1 029	400	397	435	422	427	340	378	347	290
NMVOC	kt	761	681	684	562	464	395	391	410	391	383	402	372	390	370
SO2	kt	31	26	27	20	12	12	13	11	10	9	9	10	9	8
NH3	kt														

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ancien	kt CO2e	76 941	69 750	63 573	63 387	54 601	51 609	51 370	52 646	49 883	46 725	40 734	43 013	39 113	34 903
Nouveau	kt CO2e	76 631	70 160	63 834	63 312	54 714	52 095	51 970	53 414	50 736	47 631	41 675	44 030	40 097	35 476
Différence	kt CO2e	-310	+410	+261	-75	+113	+487	+601	+768	+853	+906	+942	+1 017	+984	+573
	%	-0%	+1%	+0%	-0%	+0%	+1%	+1%	+1%	+2%	+2%	+2.31%	+2%	+3%	+2%

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /2. Industrial procesees and product uses

Tableau 372 : Modifications intervenues dans le secteur de l'agriculture (CRT 3) entre la mise à jour de la soumission de mars 2025 et celle de mars 2026 (Périmètre France UE)

OLD	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CO2	kt	1 905	1 984	1 984	1 968	1 911	2 113	2 123	2 096	2 218	2 040	2 062	1 959	1 925	2 122
CH4	kt	1 918	1 862	1 906	1 791	1 787	1 762	1 748	1 733	1 707	1 678	1 650	1 611	1 576	1 547
N2O	kt	101	94	101	95	90	91	89	91	90	87	84	85	78	79
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	175	160	171	161	148	152	152	152	152	146	141	138	131	128
CO	kt	85	83	89	64	53	38	32	31	25	22	18	18	18	18
NMVOC	kt	450	452	443	429	421	438	435	438	444	433	430	407	432	421
SO2	kt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NH3															

NEW	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CO2	kt	1 905	1 984	1 984	1 968	1 911	2 163	2 165	2 077	2 199	2 098	2 151	2 056	2 075	2 213
CH4	kt	1 919	1 863	1 907	1 792	1 788	1 763	1 750	1 734	1 708	1 680	1 652	1 613	1 578	1 550
N2O	kt	101	94	101	95	89	91	89	90	88	88	86	88	82	82
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	175	160	171	161	149	154	154	152	152	150	147	145	140	135
CO	kt	87	85	91	65	55	40	33	33	26	24	19	20	19	20
NMVOC	kt	450	453	443	429	421	438	435	439	444	433	429	407	431	420
SO2	kt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NH3															

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ancien	kt CO2e	82 492	79 146	82 246	77 331	75 746	75 561	74 688	74 768	73 749	72 021	70 443	69 705	66 857	66 391
Nouveau	kt CO2e	82 321	79 074	82 107	77 203	75 637	75 730	74 750	74 526	73 422	72 342	71 118	70 540	68 080	67 359
Différence	kt CO2e	-171	-72	-139	-127	-110	+169	+62	-243	-327	+322	+675	+835	+1 223	+968
	%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	+0%	+0%	-0%	-0%	+0%	+0.96%	+1%	+2%	+1%

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /3. Agriculture

Tableau 373 : Modifications intervenues dans le secteur de l'UTCATF (CRT 4) entre la mise à jour de la soumission de mars 2025 et celle de mars 2026 (Périmètre France UE)

OLD	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CO2	kt	-25 066	-31 029	-28 453	-57 779	-42 008	-41 510	-37 667	-29 846	-39 814	-36 598	-39 214	-36 430	-35 599	-38 854
CH4	kt	23	126	46	31	28	26	26	27	26	25	24	24	28	24
N2O	kt	8	6	5	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	10	8	8	8	8	7	7	8	7	7	7	7	9	7
CO	kt	366	291	286	275	269	252	261	277	254	253	243	244	331	234
NMVOC	kt	1 153	1 201	1 178	1 273	1 152	1 313	1 265	1 328	1 446	1 375	1 361	1 182	1 584	1 471
SO2	kt	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
NH3															

NEW	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CO2	kt	-28 806	-37 602	-36 738	-62 771	-48 239	-46 956	-40 910	-35 814	-49 517	-45 800	-49 318	-41 709	-39 647	-40 943
CH4	kt	23	128	47	31	30	28	29	29	28	29	28	28	32	28
N2O	kt	8	6	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3	4	4
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	10	9	8	8	8	7	8	8	8	8	8	8	10	8
CO	kt	368	309	296	279	279	264	279	293	275	280	271	274	363	270
NMVOC	kt	1 153	1 201	1 178	1 273	1 152	1 313	1 265	1 328	1 446	1 375	1 361	1 182	1 584	1 471
SO2	kt	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
NH3															

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ancien	kt CO2e	-22 364	-25 804	-25 813	-55 532	-39 788	-39 658	-35 870	-28 103	-38 158	-35 024	-37 743	-34 959	-33 970	-37 381
Nouveau	kt CO2e	-26 048	-32 315	-34 073	-60 530	-46 002	-45 001	-38 985	-33 936	-47 712	-44 029	-47 635	-40 016	-37 802	-39 230
Différence	kt CO2e	-3 683	-6 510	-8 259	-4 998	-6 213	-5 343	-3 116	-5 833	-9 554	-9 005	-9 892	-5 057	-3 832	-1 850
	%	+16%	+25%	+32%	+9%	+16%	+13%	+9%	+21%	+25%	+26%	######	+14%	+11%	+5%

Source Citepa / mars_2026 Recalcul_CRT.xlsm /4. LULUCF

Tableau 374 : Modifications intervenues dans le secteur des déchets (CRT 5) entre la mise à jour de la soumission de mars 2025 et celle de mars 2026 (Périmètre France UE)

OLD	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CO2	kt	2 110	2 195	1 692	1 540	1 602	1 533	1 541	1 465	1 423	1 794	1 596	1 846	1 628	1 341
CH4	kt	498	604	666	684	660	486	489	493	485	517	515	494	502	509
N2O	kt	9	10	10	10	11	11	10	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	2	3	3	3	3	3	2
CO	kt	29	31	31	31	39	41	40	36	39	43	33	42	30	30
NMVOC	kt	11	12	12	13	15	13	13	12	13	14	12	13	11	11
SO2	kt	4	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NH3	kt														

NEW	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CO2	kt	2 110	2 195	1 692	1 540	1 602	1 533	1 541	1 465	1 423	1 794	1 596	1 846	1 628	1 344
CH4	kt	498	604	666	684	660	486	489	493	485	517	515	494	502	510
N2O	kt	9	10	10	10	11	11	10	11	11	10	10	10	10	10
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	7	7	5	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2
CO	kt	29	31	31	31	39	41	40	36	39	43	34	42	30	37
NMVOC	kt	11	12	12	13	15	13	13	12	13	14	12	14	11	13
SO2	kt	4	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NH3	kt														

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ancien	kt CO2e	18 557	21 639	22 902	23 287	22 921	17 927	17 982	18 025	17 768	18 997	18 727	18 432	18 350	18 202
Nouveau	kt CO2e	18 557	21 639	22 902	23 287	22 923	17 929	18 002	18 059	17 813	19 013	18 741	18 435	18 424	18 242
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	+1.8	+2.4	+19	+34	+45	+15	+14	+3.2	+74	+39
	%	0%	0%	0%	0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0.07%	+0%	+0%	+0%

Source Citepa / mars_2026 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, Alec Bickersteth
DG Trésor : Maël Forcier, Emma Hugeron, Anne Kmety
AFD : Atika Ben Maid, Julie Vaille
ADEME : Céline Phillips, Julie Prigent

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

Soutiens financiers aux pays en développement (Article 9 de l'Accord de Paris)

Avec une contribution en équivalent-don de 14,3 Mds EUR (soit 15,4 Mds USD) en 2024, correspondant à 0,48% de son RNB, la France se situe au troisième rang des pays du G7 en termes de contribution d'aide publique au développement rapportée au revenu national brut. Un peu plus de la moitié de cette contribution en APD est issue de la coopération bilatérale, notamment via le groupe Agence Française de développement (AFD), dont les montants d'APD s'élèvent à 4,3 Mds EUR en 2024, en équivalent-don.

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 aux pays en développement fourni par le groupe Agence française de développement (AFD)

Pionnier en la matière, le groupe AFD s'est engagé à garantir que l'ensemble des projets qu'il finance soient "**100 % Accord de Paris"**[55]. Par ailleurs, le groupe AFD, Proparco inclus, s'est **engagé à consacrer au moins 50 % des financements dans les pays en développement** à des projets ayant des **bénéfices positifs pour le climat**.

Depuis 2015, le Groupe AFD a ainsi mobilisé près de **60 milliards d'euros pour le climat cumulés depuis 2015,** soit plus de 2 430 projets. Les financements climat du Groupe ont **plus que triplé,** passant de 2,9 Mds€ en 2015 à **7,7 Mds€ en 2024**. Le groupe AFD dépasse son objectif de 50% de finance climat et consacre en 2024 **61% de ses engagements** à la finance climat dans les pays en développement.

La montée en puissance de la finance climat s'accompagne d'un **rééquilibrage en faveur de l'adaptation** au changement climatique, conformément aux orientations de l'article 9 de l'Accord de Paris. Le financement de l'adaptation a été multiplié par trois depuis 2015, passant de 905 M€ en 2015 à **3,1 Mds€** en 2024. L'AFD aboutit à **40% de la finance climat dédiée à l'adaptation** depuis maintenant 2 ans, se plaçant à la hauteur des institutions internationales leaders sur le domaine (Banque mondiale, Banque Asiatique de développement).

Lancé en 2017 par l'AFD, le programme **AdaptAction** a été conçu pour accompagner les pays les plus vulnérables dans la mise en œuvre de leurs stratégies d'adaptation au changement climatique. Le programme vise à promouvoir une approche intégrée de l'adaptation, en soutenant à la fois la production de connaissances, la planification stratégique, la préparation de projets d'investissement bancables et la recherche de cofinancements. Avec une équipe de spécialistes basés sur le terrain, en dialogue constant avec les partenaires du programme, et la capacité de mobiliser rapidement de l'expertise pour des études, ateliers ou formation, AdaptAction agit comme un catalyseur, permettant aux pays partenaires de renforcer leurs politiques publiques et d'accéder à des financements climat à plus grande échelle.

Depuis 2017, AdaptAction a appuyé **24 pays** et deux organisations régionales via une dotation d**e 58.5M€**, dont 7.5M apportés par l'Union européenne pour le pourtour méditerranéen. Le

[55] Cet engagement « 100 % Accord de Paris » se traduit par une analyse systématique de chaque intervention au regard de sa cohérence avec les trajectoires de développement bas-carbone et de sa contribution à la résilience face au changement climatique. Depuis 2017, le groupe AFD ne soutient plus aucun projet incompatible avec les deux objectifs fondamentaux de l'Accord de Paris : la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'adaptation aux impacts du dérèglement climatique.

programme se concentre actuellement sur 19 pays sur le continent africain, dans l'Océan indien, au Moyen-Orient et au Bangladesh[56], avec une ambition : renforcer la résilience et la capacité d'action des pays les plus vulnérables au changement climatique.

L'AFD a également doublé ses financements en faveur de l'**atténuation** du changement climatique, passant de 2 Mds€ en 2015 à **4,5 Mds€ en 2024.**

L'Accord de Paris appelle à **réorienter les flux financiers et les investissements**, pour soutenir des trajectoires bas carbone et résilientes des pays (Articles 2 et 9) Pour ce faire, l'AFD agit sur plusieurs leviers:

- Chercher l'effet d'entrainement de ses financements sur la redirection des investissements privés.
  La **finance privée mobilisée climat** du Groupe AFD s'élève à **719 MEUR** pour le Groupe AFD au titre de 2024 (dont 510 MEUR de Proparco et 209 MEUR pour AFD)[57].
- Déployer des **instruments financiers innovants**, tels que les émissions vertes, les mixages prêts-dons, les partenariats publics-privés, les garanties et prises de participation.
- Travailler à l'animation de coalitions de **banques publiques de développement** : favoriser les engagements climat et nature des coalitions I*nternational Development Finance Club* (IDFC) et Finance en commun - rassemblant plus de 530 banques publiques de développement. Les banques publiques de développement représentant **12% de l'investissement mondial public et privé** et qui ont-elles-mêmes un fort **effet mobilisateur sur les autres sources de finance domestique**
- Mobiliser le secteur privé et accompagner la transition, à travers **Proparco, filliale de l'AFD dédiée au financement et à l'accompagnement d'entreprises et d'établissements financiers dans les pays en développement**. Proparco a fait de l'investissement en faveur du climat et de la biodiversité l'un des trois piliers de sa stratégie
- **Accompagner ses partenaires dans l'accès aux fonds climat,** notamment dans leurs démarches d'accréditation au Fonds vert pour le climat.

L'AFD s'est dotée de la "**facilité 2050"**, un instrument de financement en subvention qui vise à appuyer les pays en développement dans l'élaboration de stratégies de développement long terme bas carbone et résilientes au sens de l'accord de Paris et leurs déclinaisons en termes de modélisations sectorielles et macro-économiques, d'analyse de risques de transition et d'élaboration de politiques publiques.

Depuis son lancement, la facilité 2050, dotée de 40 MEUR a permis de déployer plus de soixante- dix appuis dans une quarantaine de pays, impliquant également le renforcement de capacités locales

[56] *Bangladesh Bénin Cameroun Comores Egypte Gambie Guinée Jordanie Liban Madagascar Maroc Maurice Mauritanie République Démocratique du Congo République du Congo Sénégal Territoires Palestiniens Togo Tunisie*

[57] Le calcul est basé sur la méthodologie OCDE ajustée (celle agréée pour le COM concernant PRO), avec application du % de co-bénéfices climat des projets sous-jacents. A noter que ce volume de FPM climat comprend également des volumes de flux Sud-Sud.

pérennes notamment en termes de modélisation, dont un tiers figurent parmi les pays les moins avancés.

Le think tank indépendant E3G, qui évalue l'alignement des activités des banques publiques de développement avec les objectifs de l'Accord de Paris, a classé l'**AFD parmi les institutions financières les plus exemplaires. L'agence a reçu la distinction de « transformationnelle »** pour son leadership institutionnel et sa politique de sortie du financement des énergies fossiles depuis 2020.

En 2025, le groupe AFD franchit une nouvelle étape. Sa nouvelle feuille de route planète 2025-2030 maintient l'engagement "100% Accord de Paris" et **réhausse l'ambition** pour :

- Renforcer ses interventions transformationnelles sur le climat et la nature.
- Viser une activité « 100% Cadre mondial biodiversité » dès 2025.
- Intégrer encore plus les enjeux de transition juste et de vulnérabilités dans ses financements climat.

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 (Green Climate Fund) est un instrument financier de l'accord de Paris, qui est devenu le principal fonds international de financement de la lutte contre les changements climatiques. Décidé à la COP de Copenhague en 2009 et créé à Cancun en 2010 lors de la conférence des parties (COP) à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), il 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. Au 26 février 2026, il totalisait 27 969,11 M US en cumul de contributions depuis sa création. 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.

Dix ans après l'approbation de son premier projet en novembre 2015, et dix ans après l'adoption de l'Accord de Paris, le Fonds Vert a approuvé depuis sa création[58] 336 projets pour un montant total de 19,3 Mds USD (hors co-financements). 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).

Lors du deuxième cycle de reconstitution du GCF, la France avait annoncé un pledge à hauteur de 1,61 Mds EUR (avec une partie don de 1,112 Mds €, et un prêt de 415 € et son coussin financier à hauteur de 83 M €). La contribution totale de la France à la seconde reconstitution du Fonds Vert (GCF-2) pour le climat pour la période 2024-2027 s'élèvera à hauteur de 1,112 Md€ , . Cet engagement place la France au rang de quatrième contributeur pour cette reconstitution derrière l l'Allemagne, le Royaume-Uni et le Japon. La France est un contributeur historique au Fonds Vert : le cumul de ses contributions (3 912,33 Mds USD) la place au rang de troisième contributeur, après le Royaume-Uni (premier contributeur (5 003,83 Mds USD) et l'Allemagne (second contributeur (4 847,19 Mds USD).

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 six conventions :

[58] Au 30 octobre 2025

- 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.
- Traité sur la haute mer et la biodiversité marine (BBNJ).

Depuis sa création, il a financé plus de 5 900 projets dans 170 pays, pour un montant total estimé à plus de 25 Mds USD. Ce fonds a permis de mobiliser plus de 145 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, soit une 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, La France devient le 6ème pays contributeur derrière l'Allemagne, le Japon, les Etats Unis, le Royaume Uni et la Suède, mais reste au 5ème rang parmi les contributeurs historiques. 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 27 février 2026, 11 pays ont participé à ce fonds pour un montant total de 383,96 M 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 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 à la 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. La septième réunion du conseil d'administration du Fonds qui s'est tenue du 7 au 9 octobre à Manillea été une étape dans l'opérationnalisation du fonds avec le lancement du premier *call for proposals* le Barbados Implementation Modalities, avec une enveloppe de 250 M USD.

Au 27 février 2026, le cumul des contributions au fonds s'élève à hauteur de 590,63 M USD. Au 27 février 2026, la France a déjà contribué à hauteur de 50M€

Le transfert de technologie vers les pays en développement (Article 10 de l'Accord de Paris)

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.

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), pour lesquels l'ADEME est Entité nationale désignée. En 2025, l'ADEME a participé aux réunions du TEC en tant que party observer, et une experte de l'Agence a été élue membre du TEC sur la période 2026-2028. Elle est de surcroit nommée vice-chair pour 2026-2027 puis chair pour 2027-2028. 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.

Pour exemple, l'Agence de la Transition Ecologique (ADEME) s'engage activement sur les transferts de technologies climatiques vers les pays en développement, en mobilisant son expertise et en accompagnant une diversité de projets ciblés. Parmi ses actions, elle pilote les appels à projets "Mission Innovation" (2017–2026), qui ont permis de financer dix projets innovants en Afrique (Sénégal, Togo, Madagascar, Burkina-Faso, Bénin, Côte d'Ivoire, Guinée), avec une forte implication des acteurs locaux et une dimension technologique avancée. L'Agence accompagne également le programme PEEB (Programme pour l'Efficacité Energétique des Bâtiments), lancé en 2017 en collaboration avec la GIZ et l'AFD, particulièrement à travers deux projets visant à appliquer les principes de construction bioclimatique et bas carbone au Sénégal et au Vietnam. Enfin, l'Agence est impliquée dans le "Digital Energy Challenge" de l'AFD (2022–2027), en soutenant la sélection des lauréats et en finançant des assistances techniques pour renforcer la mise en œuvre de solutions numériques d'accès à l'électricité.

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 des pays en développement (Article 11 de l'Accord de Paris)

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.

Dans le cadre de ses mandats, le groupe Agence française de développement (AFD), opérateur de la politique de développement de la France, met en œuvre une multitude d'actions de renforcement des capacités des pays en développement. S'appuyant sur la complémentarité de ses entités — AFD, Proparco et Expertise France — le groupe mobilise une palette d'outils, déclinés sous les formes suivantes :

- **L'expertise,** via la mise à disposition de spécialistes apportant un appui technique direct auprès d'un bénéficiaire, afin de renforcer durablement les capacités institutionnelles, opérationnelles et stratégiques.

  Dans ce cadre, le Groupe AFD s'appuie notamment sur **Expertise France**, filiale de l'AFD et agence publique dédiée à la conception et à la mise en œuvre de projets internationaux de coopération technique. Cette entité déploie des missions d'expertise au cours desquelles des spécialistes français et internationaux travaillent en étroite collaboration avec les équipes locales, dans une logique de transfert de compétences. Ces interventions couvrent des domaines tels que la gestion des ressources naturelles, l'élaboration et la mise en œuvre de politiques énergétiques ou encore la gestion des risques climatiques.
  L'intégration d'Expertise France au sein du Groupe AFD en 2022 a permis de renforcer la cohérence et la lisibilité de l'offre française de coopération, en proposant une approche globale, harmonisée et sans équivalent au service du renforcement des capacités des pays en développement.
- **La formation** destinée à renforcer les compétences des acteurs locaux et institutionnels.

  À ce titre**,** le Groupe AFD propose des actions de formation à destination d'un large éventail de bénéficiaires dans les pays en développement, parmi lesquels figurent les collectivités territoriales, les banques de développement, les entreprises, les ministères et les organisations de la société civile. Ces formations portent sur des thématiques variées, telles que la conception et la mise en œuvre de projets de développement durable ou la mobilisation de financements verts.
  Si la plupart de ces actions sont **intégrées directement au sein des projets financés,** le Campus Groupe AFD constitue l'outil de référence du groupe pour le renforcement des capacités par la formation. Il conçoit et déploie des parcours de formation à destination des bénéficiaires et des clients du Groupe AFD dans les pays en développement, notamment les administrations publiques, les institutions financières, les collectivités

territoriales et les acteurs du secteur privé. À travers des formats variés — formations présentielles, dispositifs hybrides et modules en ligne — l**e Campus Groupe AFD** vise à accompagner la montée en compétences sur des thématiques stratégiques telles que le développement durable, la transition écologique, le financement des politiques publiques, la gouvernance ou encore la lutte contre le changement climatique. En s'appuyant sur l'expertise interne du groupe et sur des partenariats académiques et techniques, le Campus AFD contribue à l'appropriation des enjeux de développement par les acteurs locaux et à la durabilité des projets financés.

- **Echanges (séminaires, colloques, conférences, voyages d'étude)**

  Chaque année, le Groupe AFD organise et soutient de nombreux séminaires, colloques, conférences et voyages d'étude, **réunissant plusieurs milliers de participants** issus des administrations, collectivités, institutions financières et acteurs privés des pays en développement. Ces dispositifs permettent, par exemple, à des décideurs publics de partager des expériences sur la planification bas-carbone, à des banques publiques de développement d'échanger sur la mobilisation de financements verts, ou encore à des collectivités de s'inspirer de bonnes pratiques en matière de transports durables ou d'adaptation au changement climatique. En favorisant le dialogue entre pairs et la mise en réseau internationale, l'AFD contribue à la diffusion de solutions opérationnelles et à leur appropriation par les acteurs locaux.

  L'AFD contribue activement aux **échanges et au renforcement des capacités** sur les enjeux climatiques en animant les **réseaux de banques publiques de développement**, notamment au sein de l'*International Development Finance Club* (IDFC) [59] et de Finance en Commun[60], en particulier à travers des groupes de travail thématiques:

  - Créé en 2011, le "*Climate Finance Working Group*" de l'IDFC[61] soutient la mise en œuvre de l'Accord de Paris à travers le partage de connaissances, le renforcement des capacités, le suivi des financements climat et le plaidoyer dans les enceintes internationales, en promouvant l'alignement de l'ensemble des flux financiers avec les objectifs climatiques de long terme.

  - Le groupe de travail "*Climate Adaptation and Resilience*"[62] de finance en commun, vise à améliorer la mesure, le suivi et l'augmentation des financements dédiés à l'adaptation au changement climatique. Il est constitué de 13 membres, banques publiques de développement du nord et du sud.

Renforcement des capacités des pays en développement en matière d'adaptation par le Ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche

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

[59] Réseau regroupant 27 banques nationales et régionales de développement à travers le monde, dont une majorité est active dans les pays en développement. L'IDFC constitue le premier fournisseur mondial de financements publics pour le développement et le climat, avec 4 000 milliards de dollars d'actifs cumulés et des engagements annuels supérieurs à 600 milliards de dollars, dont 150 milliards de dollars de financements climat.
[60] Réseau de 540 banques publiques de développement qui représentent 12% de l'investissement annuel mondial
[61] Climate Change - IDFC
[62] Fiche Adaptation and Resilience Investors Collaborative FINAL_PS_Apr25.pdf

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.

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 œuvre 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 œuvre 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

L'ADEME consolide les capacités des acteurs publics, locaux et techniques dans les pays en développement, via une diversité d'initiatives spécifiques, chacun portant une réponse spécifique aux enjeux climatiques. Entre approches générales de gouvernance de la transition écologique, approches plus sectorielles, appuis dans le cadre d'appels à projets spécifiques et accompagnement de l'expertise française au sein d'initiatives multilatérales sur le climat, elle impulse un portefolio riche de projets concrets.

Ainsi, l'ADEME accompagne l'organisation panafricaine CGLU et son académie ALGA (2020–2026) pour le développement de formations, d'outils e-learning et d'événements destinés aux élus locaux africains, visant à renforcer la gouvernance locale de la transition écologique. Un partenariat avec l'AIMF a été soutenu par l'Agence pour le développement du Réseau des Femmes Elues Locales d'Afrique (REFELA) (2021–2025), en appuyant le projet FEDACAM au Cameroun, qui vise à renforcer la gouvernance locale et à former les acteurs aux enjeux du genre dans l'accès à l'énergie. Dans cette même dynamique, l'ADEME est engagée auprès de l'AIRF (2025–2027) pour structurer sa Commission "Environnement Eau Energies Climat" et renforcer les capacités des régions francophones sur la transition écologique, via des webinaires, accompagnements de projets et recherche de financements. Enfin, l'ADEME est aussi impliquée dans le projet GESCOD (2023–2026) à Yaoundé VI (Cameroun), en collaboration avec Loos-en-Gohelle et l'AFD, pour expérimenter une approche systémique de conduite du changement, et constituer progressivement un groupe miroir d'acteurs africains souhaitant se mobiliser dans cette dynamique de villes pairs et territoires pilotes de la transition.

Toujours à la recherche de renforcement des capacités sectorielles, l'ADEME a impulsé le projet PHARD Sénégal (2022–2026), avec le FFEM, pour promouvoir un habitat abordable, résilient et durable, via la co-construction de deux opérations pilotes et la diffusion de méthodologies adaptées au contexte sénégalais. Le projet TyCCAO (2018–2025), mené au Sénégal et en Mauritanie, a été piloté par l'ADEME et le FFEM, pour structurer des filières de valorisation du typha en combustible et matériaux de construction, avec production de guides et capitalisation

d'expériences locales. L'ADEME co-pilote actuellement la création d'un MOOC sur la construction durable en Méditerranée (2025-2026), en partenariat avec l'AFD, pour former les professionnels de la construction et de l'enseignement aux spécificités climatiques et techniques du bassin méditerranéen.

Le projet GEOTRAIN (2024–2026), mené avec l'AFPG, bénéficie de l'appui de l'ADEME pour former les parties prenantes à la géothermie profonde, en s'appuyant sur l'expérience française et en préparant deux modules pilotes (électricité en Afrique de l'Ouest, chaleur dans les Balkans). Un partenariat inédit entre le Maroc, la France et l'Allemagne, soit une collaboration entre l'AMEE, l'ADEME et GIZ, permet l'essor d'un label de certification des compétences techniques des professionnels de la filière solaire thermique au Maroc, nommé « ThermoPro » (2023–2026). L'Agence a joué un rôle central dans le projet européen MeetMed II et bientôt au lancement de son troisième volet (2021–2029), en partenariat avec MEDENER et le RCREEE, pour renforcer la mise en œuvre de l'efficacité énergétique et de la résilience climatique en Méditerranée, via des projets pilotes et des transferts de méthodologies. L'ADEME a aussi participé à la mise en place d'outils pour l'appui à la maîtrise de l'énergie au Sénégal via l'AEME (2022–2025) pour les secteurs de l'éclairage public, l'administration et le bâtiment. Enfin, elle a appuyé la promotion des énergies renouvelables en Afrique subsaharienne (2021–2025) via des études de marché, sensibilisations et un guide technique pour l'électrification des établissements de santé en milieu rural.

L'ADEME apporte son appui au projet pS-Eau – Réseau Cicle et 1% solidaires (2025–2027), en partenariat avec l'AFD, pour renforcer l'accès aux services essentiels (eau, assainissement, déchets, énergie) via une approche intégrée des trois secteurs. L'Agence a soutenu le projet Phu Yen Zéro Déchet (2021–2024) au Vietnam, en aidant à réduire les plastiques à usage unique et à développer des solutions de compostage. Le programme BioSyCar (2021–2025) a été cofinancé avec le CIRAD en Indonésie et Sénégal, pour créer une synergie entre acteurs de la finance carbone et porteurs de projets de valorisation de la biomasse. L'Agence a également collaboré sur le corpus législatif contre la pollution plastique (2025–2026) de l'Assemblée parlementaire de la francophonie (APF), pour doter les législateurs francophones d'un cadre juridique structuré sur l'éradication des déchets plastiques.

Un film sur le transport maritime durable (2023–2024) a été coréalisé par l'Agence avec l'IRD, pour illustrer les convergences entre savoir-faire traditionnels et innovations technologiques en Inde. Elle contribue au Plan Bleu (2024–2026) en Méditerranée, en partenariat avec le PAM et FEDER, pour renforcer la résilience des villes et littoraux, du tourisme côtier et du transport maritime, via des études et ateliers participatifs.

Le projet ARRICE de l'Office for Climate Education (2024–2028) est soutenu par l'ADEME et le FFEM, et vise à intégrer l'éducation au changement climatique dans les systèmes scolaires du Kenya, Maurice et Sénégal, via des ressources pédagogiques, formations et projets d'élèves.

Suite au lancement de deux appels à projets consécutifs (2022 et 2024) visant à promouvoir une meilleure inclusion des sujets climat et adaptation dans les initiatives multilatérales, l'ADEME soutient les coalitions lauréates. Ainsi, le Fond Mondial pour le Développement des Villes (FMDV) porte deux projets financés par l'Agence (2022–2026) : le Prix international pour l'innovation du financement de la transition climat des villes valorise et diffuse des solutions innovantes en matière de financement de l'adaptation, avec un jury d'experts et une visibilité internationale pour encourager leur réplication ; et en partenariat avec la ville de Paris et la BEI, le deuxième projet vise à renforcer l'accès des villes, notamment en Afrique, aux financements climatiques via l'Alliance Mondiale des Banques des Territoires. L'initiative Mobilise Your City (2015–2027), dans laquelle l'ADEME collabore avec la Commission européenne, GIZ et l'AFD, a été lauréate avec deux volets d'action de renforcement des capacités, tous deux menés par l'association CODATU : l'un sur l'adaptation climatique croisée mobilité-bâti, avec la participation de Sixense Engineering (2022–2025), et le second sur la transition écologique du transport artisanal (2024–2027). L'ADEME accompagne le Partenariat Français des Déchets (PFD) (2023–2027), également lauréat, pour stimuler la contribution de l'expérience française aux cadres internationaux en matière d'économie circulaire et de réduction des GES via les déchets. Dans le même cadre, l'Agence apporte son appui au projet mené par Urbanistes sans frontières de 2024 à 2026, pour promouvoir l'urbanisme circulaire et le bâtiment recyclé en Afrique, via 18 sessions de formation, études comparatives et événements multilingues.

En dehors de ces appels à projets mais toujours en lien avec son appui aux initiatives multilatérales sur le climat et l'importance apportée au sectoriel, l'ADEME est également engagée auprès de l'Alliance Mondiale pour les Bâtiments et la Construction (GlobalABC). Cet appui s'articule autour de deux projets distincts : un groupe de travail sur l'adaptation à l'international (2021–2026), mené par l'OID, pour renforcer la prise en compte de la résilience dans le bâtiment ; et le groupe de travail sur la sobriété (2023–2026), porté par A4MT, pour ancrer le principe de « sobriété d'abord » dans les politiques internationales. L'ADEME finance pour l'Etat français un addendum au rapport sur l'état mondial des bâtiments et de la construction (2025–2026), mené par BPIE en partenariat avec le PNUE, pour analyser les liens entre accessibilité financière et durabilité du logement, avec des recommandations politiques publiées dans le Global Status Report on Buildings and Construction 2026 de la Global ABC. Enfin, l'ADEME a soutenu au projet de World Championship for Energy Savings (WCES, 2025–2026), porté par A4MT et le groupe de travail Sobriété de la GlobalABC, pour exporter le modèle français « orienté résultats » (ex. : Éco-Énergie Tertiaire) à l'international, et ainsi proposer des solutions afin de mieux répondre aux objectifs de l'Accord de Paris et de la Déclaration de Chaillot.

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)	Adaptation (renforcement des capacités)	AdaptAction	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	Adaptation	Bilateral and multilateral cooperations	L'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC), a participé à différents travaux : - le working group 6 installé par la Commission européenne pour le suivi des travaux d'adaptation au changement climatique et qui travaille actuellement sur

basin, Europe, Vietnam			la révision de la stratégie de l'UE relative à l'adaptation au changement climatique ; - dans le cadre des travaux de l'agence européenne de l'Environnement : - évaluation et la mise à jour de la plate-forme Climate-Adapt dans le cadre de la révision de la stratégie européenne - Participation à la relecture des rapports thématiques de l'Agence Européenne de l'Environnement - Rencontre multilatérale de pays d'Europe pour le partage d'expériences en matière d'évaluation des politiques publiques d'adaptation ; - accueil de délégations de pays étrangers, notamment accueil de membres de l'Observatoire National sur les Changements Climatiques du Cameroun (ONACC) dialogue multilatéral avec les pays riverains de l'arc alpin dans le cadre de la convention alpine (Conseil Consultatif sur le Climat) ; 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 & Adaptation	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.
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.
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/

Autres informations pertinentes pour le changement climatique

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[1], en lien avec son engagement pris lors de l'Accord de Paris**, l'objectif d'atteindre la « neutralité carbone »[2] (tout GES) 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 objectifs sont en cours de révision en cohérence avec le rehaussement de l'ambition climatique européenne. En particulier, un projet de troisième Stratégie nationale bas-carbone (SNBC –3) a été publié le 12 décembre 2025 à l'occasion des dix ans de l'accord de Paris[63]. Ce document constitue la feuille de route de la France pour réduire de moitié nos émissions hors puits de carbone entre 1990 et 2030, atteindre la neutralité carbone en 2050 en consolidant notamment notre puits de carbone naturel, garantir notre souveraineté énergétique, sortir des énergies fossiles et réduire significativement notre empreinte carbone, tout en assurant une transition juste et soutenable pour l'ensemble des acteurs économiques et sociaux.

Il fait actuellement l'objet de consultations auprès des instances obligatoires (Conseil national de la transition écologique, Haut conseil pour le climat, Conseil national d'évaluation des normes, Collectivités d'Outre-mer et Corse, Autorité environnementale). La SNBC 3 et le scénario de référence pourront évoluer pour tenir compte des avis exprimés par les instances. Après la prise en compte des avis, la SNBC 3 devra être soumise à une consultation du public par voie dématérialisée, avant son adoption par décret au printemps 2026 (voir partie d ci-dessous).

b) La Stratégie nationale bas-carbone.

Créée en 2015[3], 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 de la France. La troisième édition de la SNBC fixera un objectif indicatif en empreinte carbone, afin de tenir compte des émissions importées des Français dans la planification climatique ;
- **Une trajectoire cible pour y parvenir respectant les objectifs climatiques et énergétiques cadres intermédiaires** : la SNBC établit un chemin crédible de transition vers l'objectif de long terme et permettant de respecter les objectifs cadres intermédiaires (horizon 2030 en particulier), fondé sur un ensemble de

[63] https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/3e-strategie-nationale-bas-carbone-snbc-3

mesures et d'hypothèses. Ce scénario de référence indicatif permet au Gouvernement d'arrêter les budgets carbone, les objectifs sectoriels et les mesures et orientations de politiques publiques de la SNBC ;

- **Des budgets carbone – adoptés par décret** : il s'agit de plafonds d'émissions de gaz à effet de serre à ne pas dépasser exprimés en moyenne annuelle par période de 5 ans en millions de tonnes d'équivalent CO_2, déclinés par secteurs d'activité et par gaz à effet de serre ; **Les budgets carbone actuels (SNBC 2 en vigueur) couvrent la période 2019-2033, les budgets carbone de la SNBC 3 porteront sur la période de 2024 à 2038 ;**
- **Des orientations de politiques publiques** pour atteindre ces objectifs.

Émissions annuelles moyennes (en Mt CO_{2e})	2ème budget carbone	3ème budget carbone	4ème budget carbone
Période	2019-2023	2024-2028	2029-2033
Total hors UTCATF	425	362	303
Réalisé	406	N/A	N/A

2e (2019-2023), 3e (2024-2028) et 4e (2029-2033) budgets carbone, ajustés en 2025[64]. 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 européennes et internationales (notamment la contribution déterminée au niveau national (CDN) de l'Union Européenne dans le cadre de l'accord de Paris). 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, aux établissements publics[4] et aux acteurs économiques[5]. 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) 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[6], Loi anti-gaspillage pour une économie circulaire en 2020[7], Loi portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets en 2021[8], Loi relative à l'accélération des procédures liées à la construction de nouvelles installations

[64] 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. 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 ». Le code prévoit que cet ajustement technique ait lieu au moment de la clôture du budget carbone. Cet ajustement a été opéré en 2025 sur la base des données d'inventaires consolidées pour l'année 2023 (Secten 2025). Ces ajustements amènent à un budget carbone hors puits de 425 $MtCO_2e$ / an en moyenne (écart de + 3 $MtCO_2e$ / an par rapport au budget initial) et un budget carbone avec puits de 380 $MtCO_2e$ / an en moyenne (écart de -3 $MtCO_2e$ / an par rapport au budget initial). Pour en savoir plus : https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/suivi-strategie-nationale-bas-carbone#ajustement-technique-des-budgets-carbone-1

nucléaires à proximité de sites nucléaires existants et au fonctionnement des installations existantes[9], la loi relative à l'Industrie verte en 2023[10] .

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[11] de la SNBC 1[12] (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_2eq 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[13] (tout GES) 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 a marqué la fin du deuxième budget carbone de la France (période 2019-2023).

Selon l'inventaire national au format Secten de l'année 2025, **le budget carbone de la SNBC 2 (en vigueur) pour la période 2019-2023 serait respecté, avec et sans puits de carbone** (secteur UTCATF - Utilisation des Terres, Changements d'Affectation des Terres et Forêt)**.**

- Les émissions totales hors UTCATF s'élèvent à **406 MtCO2e en moyenne** sur la période, pour un budget carbone de 425 MtCO2e / an en moyenne[1].
- Les émissions totales avec UTCATF s'élèvent à **370 MtCO2e en moyenne** sur la période, pour un budget carbone de 380 MtCO2e / an en moyenne.

Le budget carbone de la SNBC 2 pour la période 2019-2023 hors puits de carbone a été respecté avec une marge de 91 Mt CO2e cumulées sur la période 2019-2023, permettent de compenser le non-respect du premier budget carbone : les émissions ont atteint 436 Mt CO2e en 2019, sont descendues à 396 Mt CO2e en 2020 (principalement à cause de la crise du Covid-19), sont remontées à 420 Mt CO2e en 2021, sont redescendues à 403 Mt CO2e en 2022 puis à 376 Mt CO2e en 2023 sur la base des dernières estimations du Citepa (Secten 2025).

Compte-tenu des réductions importantes des émissions de GES hors puits de carbone, le budget de carbone avec puits de carbone pour la période 2019-2023 est respecté avec une marge de 48 Mt CO2e cumulées sur la période 2019-2023.

Le **secteur UTCATF** (Utilisation des Terres, Changements d'Affectation des Terres et Forêt) **est actuellement un puits net de carbone**. Cela signifie qu'il génère plus d'absorptions de CO2 que d'émissions. Il s'agit **pour l'instant du seul moyen pour la France de générer des absorptions de CO2. Pour les années récentes (de 2017 à 2024), le Citepa estime que ce puits net représente en moyenne annuelle -35 Mt CO2e**. Fortement à la hausse durant la période 1990-2000 (avec un pic à - 56 MtCO2e en 2004), ce puits a significativement décliné depuis (estimées à - 37 Mt CO2e en 2024).

Compte tenu de la baisse importante du niveau du puits forestier, affecté par des sécheresses, incendies et infections sanitaires (scolytes), qui n'avait pas été anticipée par la SNBC 2, **la France n'a pas atteint le budget carbone pour le secteur UTCATF (absorptions de - 36 Mt CO2e en moyenne sur la période, contre un budget**

carbone de - 45 CO2e / an en moyenne, soit un écart de + 43 MtCO2e en cumulé, sur la période 2019-2023). Pour autant, le Gouvernement est mobilisé, via une approche équilibrée des différents enjeux relatifs à la forêt, pour préserver le puits de carbone. Ces mesures visent notamment, pour rétablir nos forêts, une adaptation massive des peuplements et essences. Les résultats de ces politiques publiques sont néanmoins peu quantifiables sur des pas de temps courts et se mesureront donc à moyen terme. Le puits de carbone que représentent ces arbres résilients, et qui viennent remplacer ceux dépérissant, ne sera significatif que lors de l'arrivée à maturité des plantations, donc pas avant 2045 ou 2050. Le Gouvernement poursuivra et amplifiera son action pour préserver ce puits.

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.

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.

Le projet de SNBC-3 actuellement en cours de consultation comprend sept grands objectifs stratégiques : Réduire de moitié les émissions territoriales hors puits de carbone (secteur utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie - UTCATF et puits technologiques) d'ici 2030 par rapport à 1990 ; Atteindre la neutralité carbone en 2050, un défi majeur compte-tenu de la dégradation du puits forestier et de la nécessité de développer les puits technologiques ; Garantir la souveraineté énergétique et sortir des énergies fossiles ; Réduire nos consommations d'énergie finale ; Consolider le puits de carbone naturel ; Garantir une transition juste, soutenable et compétitive sur les plans socio-économique ; Réduire l'empreinte carbone de la France. Comme pour la SNBC-2, la SNBC-3 comprendra des orientations sectorielles, des orientations en empreinte et des orientations transversales.

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 concernant la PPE 3 (Politique Pluriannuelle de l'Énergie) et le PNACC 3 (Plan National d'Adaptation au Changement Climatique) adopté en mars 2025, 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 lune version précédente du projet de SNBC-3 (version de novembre 2024), qui a depuis évolué.

Les travaux de préparation de cette SNBC 3 se poursuivent au niveau national (consultation des instances en cours, consultation dématérialisée du public à venir) dans l'optique de disposer d'une version finale de ce document au printemps 2026.

Notes :

[1] *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*

[2] *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)*

[3] *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*

[4] *En application de l'article L.222-1B du Code de l'environnement.*

[5] *En application de l'article 301 de la loi climat et résilience.*

[6] *https://www.legifrance.gouv.fr/dossierlegislatif/JORFDOLE000037646678/*

[7] https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041553759/
[8] https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924
[9] https://www.legifrance.gouv.fr/dossierlegislatif/JORFDOLE000046513775/
[10] https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000048242288/
[11] *Plafonds d'émissions de GES à ne pas dépasser*
[12] *Décret n° 2015-1491 du 18 novembre 2015 relatif aux budgets carbone nationaux et à la stratégie nationale bas-carbone*
[13] *L'objectif climatique français est celui d'une « neutralité climat », tout GES, bien que nous utilisions par abus de langage le terme « neutralité carbone »*
[14] *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).*
[15] *Inventaire Citepa, Secten 2024*
[16] *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

e) 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.

Le troisième plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-3) a été adopté en mars 2025. L'élaboration duPNACC-3 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. Le PNACC-3 comprend 52 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

Year of latest UNFCCC inventory review: 2025					
CRT category / issue	**Review recommendation**	**Review report / paragraph**	**MS response / status of implementation**	**Reason for non-implementation**	**Chapter/ section in the NIR**
General (1.1, 2025)	As per paragraph 79 of the MPGs, each Party shall report the information referred to in paragraphs 65–78 in a narrative and common tabular format, as applicable. While France provided information necessary to track progress made in implementing and achieving its nationally determined contribution for France EU in both narrative and common tabular formats, it only provided the required information related to France OCT in a narrative format in the BTR without the corresponding CTF tables. During the review, France explained that they faced difficulties in including information on the OCT component of France's NDC in the electronic CTF tables which were already completed with information on the EU component of France's Nationally Determined Contribution. **TERT recommends that France submits complete CTF tables related to the OCT component of France's Nationally Determined Contribution in the next submission.**	2025 Draft BTR review report	After discussion with the UNFCCC secretariat in May 2025, it was confirmed by UNFCCC, that as far as France has only a single NDC for France (even with 2 sub-detailed reduction objectives for Fr UE part and Fr OCT outside EU) only a single CRT submission for all France is required for the Paris Agreement / MPGs. This is what will be done by 15 April 2026.		
General (2.G.1, 2025) Institutional arrangements	The TERT noted that the NID 2024, covering France with its EU territories, submitted together with BTR1, did include a comprehensive section on the institutional arrangements, which included archiving. However, it was noted that no detailed information on the archiving system and procedures was reported in the NID. The TERT also noted that no information on changes in institutional arrangements since the latest submission has been reported. During the review, the Party provided a description, details and procedures of the GHG archiving system. It further explained that there were no changes in institutional arrangements since its last submission. **The TERT recommends the Party to include information on the archiving system and procedures. The TERT also suggests including a paragraph if changes in the institutional arrangements should occur.**	2025 Draft BTR review report	to be implemented in next NIR	Additional information on archiving and on the changes in instititutionnal changes will be shortly presented in next NIR.	
General (2.G.2, 2025) QA/QC and verification	The TERT noted several QA/QC issues in the submitted NID (e.g. use of notation keys in energy and agriculture (e.g. 3.A.4, 3.B.4), consistency between reporting in NID and CRT (e.g. 1.C.2, 3.B.4), consistent time series of underlying AD and emission calculations in 2F in IPPU). During the review, the Party confirmed that	2025 Draft BTR review report	to be implemented in next NIR		

	such issues have occurred and indicated that the internal process will be improved for the next submissions. **The TERT recommends that the Party improves it QA/QC of its reporting of its future NID and GHG inventories.**				
General (2.G.3, 2025) Inventory submission	The MPGs in paragraph 10 (a) require that each Party shall provide a national inventory report of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases (GHGs), in accordance with the MPGs contained in chapter II. The TERT noted that France did not provide a full GHG inventory and NID for its OCTs not included in France EU (France OCT), jointly subject to the OCT component of the NDC of France, which is base year GHG emission level based. During the review the Party acknowledged that it had not provided this information. **The TERT recommends that France provides a national inventory report of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases (GHGs) for France OCT, taking into account specific circumstances, in accordance with the MPGs contained in chapter II, in order to allow transparent tracking of progress towards the OCT component of France's NDC. This inventory is expected to be submitted jointly with France EU's GHG inventory, for the first time by 15 April 2026.**	2025 Draft BTR review report	After discussion with the UNFCCC secretariat in May 2025, it was confirmed by UNFCCC, that as far as France has only a single NDC for France (even with 2 sub-detailed reduction objectives for Fr UE part and Fr OCT outside EU) only a single inventory (NIR and CRT) submission for all France is required for the Paris Agreement / MPGs. This is what will be done by 15 April 2026. In practice, the NIR will continue to present results for France EU perimeter, all France, and OCT perimeter to have a single report for UNFCCC and EU purposes.		
Energy (3.E.1, 2025) 1.A Fuel combustion – sectoral approach – CO2	In the NID section 3.2.4.2, table 44, France reported the national emission factor for Bitumen as 80.7 kg CO2/GJ. The TERT noted that the value is below the sector's interval observed since 1990, reported as 83.9-96.1 kg CO2/GJ in the same table. During the review, the Party explained that the value provided in table 44 was only used for the reference approach while the range of values was used in the sectoral approach based on the ETS emission reports. France also clarified that the mean value will be corrected in the next NID submission. **The TERT recommends that the Party transparently reports in the subsequent NID the use of different CO2 EF for Bitumen between the reference and the sectoral approaches and ensures a correct documentation of the EF used.**	2025 Draft BTR review report	Implemented. In the NID section 3.2.4.2 , table 50, the national emission factor for Bitumen now corresponds to the interval provided (84-96 kg/GJ) as only reported measurements from operators (and retropolated values) are taken for the CO2 EF of these energy consumptions, in the national emission inventory. In consequence, the CO2 EF now used for the reference approach has been taken as the average iEF of the reported data for each year, in order to ensure consistency between both approaches.		NIR section 3.2.4

Energy (3.E.2, 2025) Feedstocks, reductants and other non-energy use of fuels – CO2	In the CRT table 1.A(d), France uses the notation key "IE" for emissions from coking coal, other bituminous coal and lignite coke oven/gas coke. While the Party explains that emission from coke oven/gas coke are reported under various IPPU subcategories, it does not provide a similar explanation for emissions from coking coal, other bituminous coal and lignite. In addition, the TERT noted that section 3.2.3 of the NID indicates that solid fuel consumption for Non-Energy Use (NEU) is only included under category 2.C.1 (Iron and Steel Production) whereas CRT Table 1.A(d) refers to Iron and Steel Production, Ferroalloys Production, Metal Industry, Chemical Industry. During the review, the Party provided explanation on the allocation of such emissions under 2.C.1, 2.C.2 and 2.B, and confirmed the omission of this information in the NID. **The TERT recommends the Party to report complete, accurate and consistent information in its NID, including explanation for using all IE notation keys as per the IPCC guidelines and updating section 3.2.3 of the NID in the next submission. The TERT also recommends that France make efforts to strengthen its QA/QC process with a view to ensuring the quality of its BTR and NID**	2025 Draft BTR review report	Implemented. In theNID section 3.2.3, it is now mentionned that non-energy consumptions of other bituminous coal and coke are also present in the ferroalloy (CRT 2C2) and chemical industries (CRT 2B).		NIR section 3.2.3
IPPU (4.I.1, 2025) 2. General (IPPU) - CO2	The TERT noted that deviations in CO2 emission in 2022 compared to previous years and the time series for emission levels from some IPPU categories (1 Mton decrease (minus 27.5 per cent compared to 2021) for 2.B.8 CO2 and highest TS value (plus 61.2 per cent compared to the average 1990-2021) for 2.D.3 CO2) was reported in CRT, but the reason behind these deviations was not transparently reported in the NID. During the review, the Party provided an explanation for the deviating emission levels in these categories for 2022 compared to previous years. The Party explained that for 2.D.3, the increase in CO2 emissions in 2022 was caused by a larger use of urea, the decrease for CO2-emissions in 2.B.8. was caused because the production of ethylene (and associated emissions) has decreased by 30%. 3 out of the 6 steam crackers have experienced a fall of production in 2022 due to various reasons of which incident, strike and technical maintenance of the installations. **The TERT recommends that the Party includes information in observed deviations in time series development, especially emission decreases, for CO2 emissions from categories 2.D.3 and 2.B.8, and any other category for which substantial deviations in TS emissions are observed especially in recent years, in a transparent manner.**	2025 Draft BTR review report	To be implemented in the next NIR for 2D3 Implemented for 2B8.		

IPPU (4.I.2, 2025) 2. General (IPPU) - CO2	The TERT noted that the Party has reported indirect CO2 emissions from IPPU in CRT table 6 and has provided national total GHG emissions, including and excluding these indirect CO2 emissions. However, in CRT table 6 the source emissions for the indirect CO2 emissions in IPPU are not provided. During the review the Party acknowledged that it had not provided this information. **The TERT encourages the Party to also provide the source emissions when reporting indirect CO2 emissions from IPPU in CRT table 6.**	2025 Draft BTR review report	To be implemented in the next NIR.		
IPPU (4.I.3, 2025) 2.G.1 Electrical equipment - SF6	The TERT noted that in its GHG inventory, in para 4.8.6, that the Party reported that specific AD and EF to estimate SF6 emissions from electrical equipment have not yet been collected to estimate SF6 emissions from electrical equipment in its overseas territories and that it currently uses AD and EF from metropolitan France. The explanation given is that the AD and EF applied is based on electricity production in mainland France and that these AD and EF were applied to the overseas territories for estimating SF6 emissions given that a more accurate method is not currently available. The TERT noted that the electrical grid in the overseas territories may not be comparable to that of metropolitan France, owing to the different contexts of overseas territories and mainland France regarding age, capacities and type of electric power systems, maintenance practices. During the review, the Party reported that it needs more time and data to implement this CS approach for the overseas territories. **The TERT recommends that the Party reports on the SF6 emissions of this category 2.G.1 for its overseas territories included in France EU based on CS AD and EF data. And if this is not possible, The TERT recommends that the Party reports on the progress made to implement this recommendation.**	2025 Draft BTR review report	Not yet implemented, but we noted the need to report on the progress made to implement this recommendation in the NIR.	New data / statistics on Overseas territories require time for developpement/implementation.	
Agriculture (5.A.1, 2025) 3.A Enteric fermentation – CH4	The TERT noted the statement on page 520 of the NID where the Party did not provide clear description of the methodological tiers applied for some animal categories under enteric fermentation which is a key category. The TERT also noted that the reporting is not in accordance with the MPGs para. 22 which requires each Party to transparently explain national methods, data and/or parameters selected. During the review, the Party indicated that they reported methodology and Tier classification using national methods in estimating CH4 emissions from enteric fermentation which will be updated, including the re-evaluation of the applied methodologies (Mondferent I, Mondferent II, and Vermorel). The Party further indicated its intention to reflect these changes in future submissions. **The TERT recommends the Party to clearly**	2025 Draft BTR review report	Implemented		NIR section 5.2

	assign the methodology used for all animal category in future NIRs.				
Agriculture (5.A.2, 2025) 3.B Manure management – CH4, N2O	The Party applied the same manure management system (MMS) distribution as used for metropolitan France in France's Overseas Territories. The TERT considers that this practice does not fully adhere to 2006 IPCC Guidelines which highlights the importance of regional disaggregation in countries with diverse climatic zones, livestock production systems, or manure management practices, which is clearly the case for France given its overseas territories' differing climatic and agricultural contexts. During the review, the Party provided additional information indicating that there are ongoing efforts to improve estimates of MMS distributions in France's Overseas Territories, including studies undertaken by Citepa and local experts. The TERT notes the Party's recognition of current data limitations and its consideration of IPCC regional defaults as a potential, though not yet adopted, alternative. **The TERT recommends the Party to:** **- Collect region-specific MMS data for overseas territories that remain within the scope of national reporting (La Réunion, Guadeloupe, Martinique, Mayotte, and French Guiana);** **- Explore interim solutions, such as the adoption of IPCC regional defaults for MMS where national data are unavailable, to enhance accuracy, comparability, and methodological transparency**	2025 Draft BTR review report	There are 11 overseas territories in France ('DROM' and 'PTOM'). Collecting region specific MMS for each of these territories would be the best approach but is very time consuming and resource intensive considering the level of emissions of these territories for 3B. So far one MMS is applied for all territories. Separating the calculus for 11 territories with default IPCC MMS was not implemented this year due to a lack of time. We will implement this recommendation in future submissions.	Lack of time	NIR section 5.3
Agriculture (5.A.3, 2025) 3.B Manure management – CH4, N2O	The Party reported the existence of manure composting as national practice for poultry litter and solid manure but does not report this as a separate manure management system and reports IE in CRT table 3.B(b). The Party also indicated that manure composting is included under "solid storage" or "other" MMS categories. Lack of separation reduces comparability with other countries and limits transparency. During the review, the Party explained that while composting of manure is practiced in France, it is not currently reported as a distinct MMS due to the lack of disaggregated data and methodological challenges identified by national experts. The Party also indicated that attempts were made to engage with the national	2025 Draft BTR review report	Data on on-farm composting of manure is still lacking in France. The issue remains in our improvement plan.	Lack of data	NIR section 5.3

	composting federation but has not yet received a response. **The TERT recommends that the Party intensify efforts to obtain data or expert judgment on the scale and characteristics of manure composting in France and France's Overseas Territories in the EU and report composting as a separate category in accordance with the 2006 IPCC Guidelines and apply Tier 1 default values or proxies as an interim approach until national data become available.**				
Agriculture (5.A.4, 2025) 3.B Manure manageme nt – CH4	The Party indicated partial or incomplete regional input supply data for methanizers which affects national inventory as temporal changes, evolving supply are not captured. The Party also indicated that the input quantities, types, size, feedstock mix, and technology varied widely. During the review, the Party indicated enhanced reporting in the 2025 submission was initiated, particularly the incorporation of regional data from the SINOE database (2017–2023) and the refinement of input categories to better characterize nitrogen content in digestates. The Party's indicated increased efforts to explore additional sources, including the SEAMETHA database and research projects such as Concept-Dig, to improve estimates and assess the feasibility of further disaggregation (e.g., by digester type, size, and technology). **The TERT therefore, encourages the Party to improve time series consistency by clearly outlining the specific steps and timeline for acquiring the necessary references and data to support the anaerobic digestion models, this should include an explanation of how the models account for temporal changes, evolving supply plans, and potential technical contingencies.**	2025 Draft BTR review report	France collects annually the best up to date data on input quantities of manure and other feedstock to anaerobic digester from year 2020 on, based on publicly available data in France, generally published at regional level by DREAL or ADEME. These data are derived from annual procurement plans reported by farmers at regional level. The exact data has been asked to the regional authorities but is confidential at a more disaggregated level than the one already published online (for instance here : https://aile.asso.fr/biogaz/la-filiere/carte-chiffres-cles-methanisation/). Anyways, the only existing data refers to "annual procurement plans" which is different from the exact input mix to farm digesters since farm, climate or economic conditions can prevent the farmer from accessing desired quantities of material to produce biogaz. The annual expert group on agricultural inventories in 2025 as raised more attention on the question of TAN content of the digestate linked to NH3 emissions at post-storage and application phases, with very limited indirect effect on nitrous oxide emissions. For these		

			reasons, France considers that the current methodology to account for methane emissions from digesters in CRT code 3B is in line with UNFCCC requirements. Considering that the methodology detailed in the NID is already using best publicly available data for input mix and was validated by national experts from the annual agricultural inventory group, it is unclear how further refinement of the methodology would lead to a better estimate of emissions from 3B.		

LULUCF (6.L.1, 2025) 4. Land representation - CO2	France implemented a spatially explicit land monitoring approach using a nationwide 50-meter grid, integrating multiple cartographic sources to reconstruct annual land use and land use change for each grid cell. An algorithm was applied to select the most reliable data per centroid, supported by additional modules for afforestation/deforestation, artificialisation, and crop rotation. The model relies on diverse datasets, including Urban Atlas (UA), Corine Land Cover (CLC), Natura 2000 (N2K), BD Forêt (BDF), RPG, BDcarto, and BDtopo. For the TERT, the provided information on the satellite inputs, spatial resolution, methodological details (particularly for BD Forêt), the algorithm's decision rules, and the method used to ensure time-series consistency prior to 2006 in order to understand the robustness of the approach was not clear. During the review, the Party clarified that the model integrates multiple cartographic products through a hierarchical structure that prioritizes thematic accuracy, with the following ranking: UAch > N2Kch > CLCch > BDF > RPG > UA > N2K > BDcarto Forest land use is prioritized using BD Forêt (BDF), while RPG (LPIS) informs cropland and grassland assignments. European datasets (Urban Atlas, Natura 2000) are also integrated, and default coverage is provided by BDcarto where no high-resolution data exist. The decision algorithm selects the most reliable source per grid centroid, giving priority to change products (e.g. Urban Atlas Change) when available, to ensure consistency before and after a LUC event. For pre-2006 years, when many modern products were unavailable, France applied statistical extrapolations and utilized older versions of BDF and BDTopo to fill gaps. Metadata about satellites and methods used by each product are not always publicly available but partially referenced. **In order to improve the transparency of the submission, the TERT recommends the Party to: (i) clarify the algorithmic decision rules used to select the most reliable cartographic source per grid centroid. Provide pseudo-code, flowcharts or decision trees to enhance reproducibility and transparency, (ii) document the temporal extrapolation methods used for the pre-2006 period in more detail, including assumptions and validation, to help assess time-series consistency, (iii) provide a more systematic mapping of the origin, satellite source, spatial resolution, and thematic accuracy of each cartographic input. Providing a structured table with this metadata would support evaluation of**	2025 Draft BTR review report	We have created a separated annex (Annex UTCATF_suividesterres.pdf), describing in more details the land representation model. This includes description of the products used and more specifications of these products.		NID Annex UTCATF_Suividesterres.pdf

	source reliability and (iv) ensure continuity in QA/QC procedures for cartographic product integration, especially when updating sources (e.g., new RPG versions or changes in BDF specifications), to maintain methodological consistency.				

LULUCF (6.L.2, 2025) 4. Land representation - CO2	France's afforestation–deforestation module identifies land use change by comparing forest polygons from two editions of the BD Forêt dataset, applying a series of filtering steps to remove false detections. These include eliminating spurious afforestation due to resolution differences and correcting edge effects in polygon layouts, as well as adjusting for improved detection of roads and paths that may falsely appear as deforestation. The TERT recognizes this module as a key component of land use change detection in the forestry sector, however, the TERT believes the explanation of these steps and the description of the filtering sequence, criteria, and decision rules used to exclude non-genuine changes was not clear to assess how potential biases—particularly those linked to spatial resolution and feature interpretation—are mitigated in the reported estimations of land use change. During the review, France provided a methodological note titled "Protocol for the Detection of Afforestation and Deforestation" (Citepa, 2025), which describes a spatially explicit module designed to detect land use change between forest and non-forest areas. The module is complementary to the general land change model, If both models detect a change, the general model prevails; If only the afforestation-deforestation module detects change, its results are retained. Final classification of land use change includes uncertainty categories (low, medium, high), depending on the confidence in source data used for assigning land use before and after change. **To improve the transparency of the methodological approach used to detect Afforestation and deforestation, the TERT recommends the Party to: (i) include a flowchart or schematic diagram of the afforestation/deforestation detection process in the NIR, clearly outlining decision points, filters, and hierarchy of input layers, (ii) document quantitative validation efforts, such as comparisons with ground data (e.g., NFI plots or Teruti survey), to assess accuracy of detected changes and the effectiveness of filtering steps, (iii) clarify uncertainty assignment procedures, especially how "low", "medium", or "high" categories are defined and how they propagate into LULUCF emission estimates, (iv) report the estimated area of changes excluded by each filter step (e.g., edge effects, small polygons), to help assess the trade-off between false positives and missed detections and (v) disclose known limitations more explicitly in the NIR, such as the inability to assign exact year**	2025 Draft BTR review report	We have created a separated annex (Annex UTCATF_suividesterres.pdf), describing in more details the land representation model. This includes elements on afforestation and deforestation detections. Please note that this part of the method is subject to continous improvement, and remains part of the improvement plan. For instance, thresholds or rules of decisions will most probably be updated by this ongoing work.		NID Annex UTCATF_Suividesterres.pdf

	of change, and describe any measures taken to address these limitations (e.g., auxiliary data, conservative assumptions).				

LULUCF (6.L.3, 2025) 4. Land representation - CO2	In the subsection of the NIR on "Agricultural Dynamics," France describes a complementary module based on RPG data to track crop cycles and the presence of grasslands, treating agricultural land as a unified category to avoid over-detection of short-term changes. For 2015–2021, annual RPG data were directly assigned to centroids, while for earlier years, historical land use was reconstructed using statistical methods. Crop rotations were modelled using Markov chains, based on observed transitions during 2015–2020, to estimate land use changes at the PRA level. For the TERT it was not clear how this approach using Markov chain methodology ensured consistency across the full time series (1990–2021) despite changes in data sources and methods. During the review, the Party submitted a methodological note titled "Agricultural Soil Methodology" (Citepa, 2025), which outlines the approach used to reconstruct agricultural land use changes in mainland France from 1970 to 2020. The core of the method is a spatially explicit crop rotation model based on a first-order Markov chain, calibrated separately for each Petite Région Agricole (PRA – Small Agricultural Region). The model generates plausible annual crop rotations and land use successions for each centroid from 1970 onward. The Party acknowledge the limitations of the approach as the model assumes constant parcel geometry, treats plots as independent (ignores neighbourhood effects), and does not validate historical sequences against observations. **The TERT recommends the Party to: (i) clearly explain the link between census-based statistics and model recalibration of the transition matrices, (ii) report accuracy metrics or validation results for the model outputs (e.g., comparison of modelled vs. observed crop shares at PRA level) for the 1970–2014 period, (iii) clarify how the model ensures consistency at the centroid level—i.e., how it avoids abrupt or implausible land use transitions between years, particularly for long-term categories like permanent grassland or perennial crops, (iv) disclose and justify model assumptions, such as stability of plot geometry between 2015 and 1970, independence of land use transitions from plot size or spatial context and the use of linear interpolation between census years, (v) quantify and communicate model uncertainty, particularly in the back-casted period and (vi) describe any quality control or expert review used to evaluate the realism of modelled land use sequences before they were integrated into the inventory.**	2025 Draft BTR review report	We have created a separated annex (Annex UTCATF_suividesterres.pdf), describing in more details the land representation model. This includes a section on the crop rotation model description. We are aware that most assumptions are made to simplify the model and allow to be spatially explicit and compliant with the EU requirement, and must then be extrapolated where data are not available. These issues are really challenging, we will work on improving the control of biais of these hypothesis, their description, and potentially change of the methodology (this specific topic is also still on the improvement plan, and continous work is done on this subject).		NID Annex UTCATF_ Suividesterres.pdf

LULUCF (6.L.4, 2025) 4. Land representation - CO2	The Party did not report on uncertainty analysis in the section Land monitoring in mainland France NID. The TERT was therefore unable to identify any information related to the uncertainty analysis of the multisource model. Similarly, no such information was found in the Uncertainty Analysis section (page 634) or in Appendix 2. For the TERT it was also not clear if uncertainties related to land use and land use change estimations at the grid cell level were assessed for each reporting period at the light of the 2006 IPCC GL on uncertainty analysis. During the review the Party acknowledged that no updated uncertainty assessment has been conducted for the new spatially explicit multisource land monitoring model. The Party indicated that the primary source of uncertainty comes from the inherent quality and limitations of the cartographic products used in the model. Due to the recent implementation of the spatially explicit system, no quantitative uncertainty values are currently available. France stated that uncertainty assessment of the integrated products will be addressed in the medium term, once appropriate quality assurance processes are in place. **In order to improve the accuracy of the LULUC estimations and address the requirement of paragraph 29 of the MPGs on Uncertainty assessment, the TERT recommends the Party to develop and implement a quantitative uncertainty analysis for the multisource land representation model, consistent with IPCC 2006 Guidelines a (Vol. 1, Ch. 3). It is recommended that it include: (i) unbiased area estimations of LULUC, (ii) estimations of uncertainties for the unbiased area estimations of LULUC, (iii) the propagation of uncertainties of the unbiased area estimations of LULUC and a (iv) comprehensive and detailed description of the inputs, assumptions and methodology used to obtain the unbiased area estimations of LULUC and its uncertainties.**	2025 Draft BTR review report	Not implemented yet.	We will consider these elements on uncertainties for possible improvements in next submissions. These improvements are also linked to the other improvements planned for coming years in the land representation model.	NIR section 6.3

LULUCF (6.L.5, 2025) 4. Land representation - CO2	In the subsection on French Guiana, land use change between 1989 and 2008 was assessed using a point-based sampling method, while post-2012 deforestation was estimated using a wall-to-wall satellite product capturing forest cover changes in 5-year intervals. Although the Party considers this shift represents a methodological improvement, however, the NID does not specify how time series consistency was ensured during the transition between methods. To the TERT it was not clear how the integration of both approaches was managed to maintain a coherent and consistent land use change time series. During the review, the Party clarified that the Vancutsem product was used to assess deforestation over the periods 2010–2015 and 2015–2020. To ensure time series consistency, the relative change in deforestation trends observed between these two periods was retained and retroactively applied to the 2008–2012 period, which was originally assessed using a point-based sampling approach. This adjustment preserves the overall deforestation level derived from the original method while incorporating the temporal trend detected by the more recent wall-to-wall mapping. **To improve the transparency and consistency of the LULUC estimations between 1989 and 2008 in French Guyana, the TERT recommends the Party to: (i) provide quantitative comparisons between the two approaches (e.g., overlapping years such as 2008–2012), including differences in detected area and spatial patterns of change, (ii) clarify how the Vancutsem trend was applied to adjust the earlier point-based estimates, (iii) describe the harmonization method used to integrate both datasets in a single, consistent time series, this includes how land use change categories were aligned across methods and (iv) justify the assumption that the spatial trend detected by Vancutsem is more accurate that the dynamics obtained by the sampling approach.**	2025 Draft BTR review report	We have added elements in the NIR about the harmonization method. The landuse approach for French Guiana might evolve in next submissions to have a better timeliness and annual updates of the dynamics in recents years thanks to earth observation products. It might still be the Vancutsem one or another.		NIR section 6.3

LULUCF (6.L.6, 2025) 4.A Forest land - CO2	The Party reported that mesh stock variation model estimates annual carbon fluxes using 50-meter grid cells, with land use classifications assigned from the multisource model and carbon stocks allocated based on corresponding land use or cover types. However, while LULUC classifications rely on cartographic sources, emission factors are derived from forest types observed in National Forest Inventory (NFI) plots. It was not clear to the TERT if and how these two different spatial domains are used, potentially leading to inconsistencies when land use categories in the grid cells do not align with NFI-based emission factor classifications. During the review, France clarified that the exact locations of NFI plots are not shared by the NFI team, preventing direct spatial verification or alignment with the grid cells used in the stock variation model. Biomass flux data are instead provided by forest type and administrative interregion. The Party explained that changes in carbon stocks at the 50 m × 50 m grid cell level are calculated only for land use change detection. These estimates help attribute part of the total fluxes to specific LULUC transitions. **The TERT recommends the Party to improve spatial coherence (statistical domain) between the land use classifications from the multisource model and the forest type data used to derive emission factors. Although direct plot-level matching is not possible, in order to avoid potential bias and to increase the accuracy of the emissions estimations, the TERT recommends developing a methodological framework to harmonize aggregated NFI data with area LULUC estimations obtained from grid-based classifications, ensuring that emission factors reflect the land cover conditions observed in the spatial model or vice versa.**	2025 Draft BTR review report	Not implemented yet.	It is unlikely that we build a complete plot level matching between land use data and NFI data. There are some mismatches between IGN cartographic data and NFI sampling data. But we keep progressing towards a relevant inclusion of NFI data in our model to ensure that emission factors reflect the land cover conditions observed in the spatial model.	NIR section 6.4

LULUCF (6.L.7, 2025) 4.A Forest land - CO2	The Party reported that in mainland France, carbon stock estimates for above-ground biomass, deadwood, litter, and soil organic carbon are derived from sample-based approaches using data from IGN, Renecofor, and RMQS, and are statistically representative at the stratum level (e.g., sylvoecoregion, GRECO, or soil-climate zone). These values are applied within the 50-meter grid of the mesh stock variation model. To the TERT it was not clear what the rationale was for using stratum-level averages at such fine spatial resolution, and whether the associated uncertainty estimates were also applied at the grid level and used in Monte Carlo simulations to assess overall uncertainty. During the review, the Party clarified that although land use is monitored at a high spatial resolution using a 50 m × 50 m grid, this does not mean that all input data or parameters are available or applicable at that same resolution. The examples provided by the TERT illustrate this well. For instance, in the case of mineral soils, carbon stock values are assigned based on geographic location, using classes that combine soil type and climate. These classifications were designed to ensure a sufficient number of sample plots per class, making them statistically representative. For forest biomass, a different classification approach is applied, but it still provides complete spatial coverage. As a result, it is possible to assign the necessary parameter values to each grid cell based on its location within the classification framework. **The TERT recommends that the Party assess and, where appropriate, apply a revision of the methodology used to assign carbon stock values derived at the stratum level to 50-meter grid cells. To minimize in future reports potential bias on uncertainty estimations, the TERT recommends to report on alternative approaches that ensure EF and LULUCF area estimates are applied at compatible and appropriate levels of representativeness.**	2025 Draft BTR review report	According to us the disaggregation of data at high resolution does not increase the uncertainty on the global result which is aggregated at the end. No real gap was identified in current NIR.		NIR section 6.4

LULUCF (6.L.8, 2025) 4.A Forest land - CO2	Section 6.3.4 of the Party's NID states that gross production uncertainty is based solely on sampling error, with a fixed 5% value used to account for additional sources such as inter-annual variability, measurement errors, and allometric equation parameters. , It was not clear to the TERT what the rationale and justification was for assuming that this fixed value sufficiently captures the combined impact of these various uncertainty sources. During the review, the Party explained that the rough information regarding standard deviation on growth volume is actually 3% from NFI. This is correct that there is additional uncertainty related biomass expansion factors and carbon content which are maybe not enough visible through the use of 5% uncertainty for the entire growth in carbon. The Party acknowledges that all uncertainty may not be included in such a value, but they it remains that they are quite confident in the values of growth due to the checks that are made (for instance with carbon stock change method). **The TERT recommends that the Party implement a more comprehensive uncertainty analysis (associated to random errors) by using at least Approach 1 (the analytical approach), as outlined in the IPCC Guidelines. According to the IPCC Guidelines (Vol. 1, Ch. 3, Section 3.1.1) for gross production estimates by explicitly quantifying all major sources of uncertainty—such as sampling error, biomass expansion factors, carbon content, and allometric equations—and combining them using formal uncertainty propagation methods (e.g., Monte Carlo or analytical approaches). This would improve the transparency of the reported uncertainty values.**	2025 Draft BTR review report	Not implemented yet.	The improvement of the uncertainty analysis on forest fluxes will be considered for next submissions. It may also include informations regarding the stocks evolution that is used as quality control.	NIR section 6.4

LULUCF (6.L.9, 2025) 4. General LULUCF - CO2	In Section 6.3.4 on Uncertainties, it was noted that uncertainty in the LULUCF sector is estimated at 30% using a Monte Carlo approach. To the TERT it was not clear what the specific time period is for which this uncertainty estimate is considered representative. Additionally, it was not clear what the specific sources of uncertainty were that were taken into account in deriving this estimate and how the Monte Carlo approach was implemented in this context. During the review, the Party explained that the Monte Carlo analysis was made a few years ago, it is not focused on a specific period but estimated globally for the entire period covered by the inventory. The calculation of the uncertainty is not implemented at the level of calculation of emission but at aggregated level with a proxy (very simplified calculation based on areas, biomass gains, biomass losses and other fluxes). The uncertainty of areas is estimated between 1% and 80% depending on the type of land conversion. It was not updated with the new geographically explicit system and they expect some benefits even if the reduction of uncertainty is not so obvious with geographically explicit monitoring. The uncertainty of gains in forest is estimated as 5% in forest and 20% in croplands and grasslands, the uncertainty of losses is estimated as 10% in forest and 20% in grasslands and croplands. For other lands and pools the uncertainty considered is between 50% and 650% (650% of uncertainty is for mineral soil change in case of land conversion between forest and grassland). The Monte-Carlo routine estimate an uncertainty by land types by using this input data. **The TERT recommends that the Party update its Monte Carlo uncertainty analysis to reflect the current geographically explicit system and recent input data. The revised analysis should incorporate disaggregated uncertainty sources by land-use category, apply consistent methodologies aligned with IPCC guidance, and clearly document the assumptions, input distributions, and scope of representativeness. This would enhance the accuracy and transparency of the emission/removal reported LULUCF uncertainty estimates.**	2025 Draft BTR review report	Not implemented yet.	We will consider these elements on uncertainties for possible improvements in next submissions. These improvements are also linked to the other improvements planned for coming years and will follow the implementations of these actions (for instance on soil, land uses monitoring).	NIR section 6.3

Waste (7.W.1, 2025) 5.D.1 Domestic wastewater – CH4	France identified in its NID CH4 emissions from category 5.D.1 domestic wastewater as a key category (level and trend). However, France used default EFs and parameters (Bo, MCF) to estimate CH4 emissions from category 5.D.1 domestic wastewater (NID, chap. 7.5.2, page 821). The TERT considers that this is not in line with the 2006 IPCC Guidelines and MPG paragraph 20, 21 and 23 regarding estimation of emissions for category 5.D.1, being a key category. The TERT noted that the Party did not clearly document why the methodological choice was not in line with the corresponding decision tree of the IPCC guidelines (vol. 5, chap. 6.2.2.1, fig. 6.2, p.6.10) and use country specific values for Bo and MCF for estimating CH4 emissions from 5.D.1. During the review, the Party provided additional information clarifying that it is aware of the absence of country-specific values for Bo or MCF for the relevant category, but has not identified any information that would support the development of such CS factors. The Party also indicated that there are currently no plans to develop country-specific emission factors for this category. **The TERT recommends the Party to use methods from the IPCC guidelines in line with MPG 20 and 21and further explore the possibility of developing country-specific emission factors for this key category for future reporting, in order to improve the accuracy of the emission estimates. If the Party is unable to adopt a higher-tier method for the category, the TERT recommends the Party to clearly document why the methodological choice was not in line with the corresponding decision tree of the IPCC guidelines.**	2025 Draft BTR review report	Not implemented yet. France acknowledges the TERT recommendation regarding the estimation of CH_4 emissions from category 5.D.1 (domestic wastewater), identified as a key category. For the current reporting period, CH_4 emissions continue to be estimated using default Bo and MCF values from the 2006 IPCC Guidelines, as no nationally representative data are currently available to support the development of country-specific parameters. In response to the recommendation, France plans to improve the transparency of the National Inventory Report (NIR) by more clearly documenting the application of the IPCC decision tree and the rationale for the continued use of default parameters in future submissions.	France is currently unable to implement higher-tier methods or develop country-specific Bo and MCF values for domestic wastewater due to the lack of sufficient national data on wastewater treatment pathways and operating conditions required by the IPCC Guidelines. No studies or datasets are currently available that would allow the derivation of robust country-specific parameters for this category.	NIR 5.D.1

Waste (7.W.2, 2025) 5.D.2 Industrial wastewater – CH4	In the NID and CRT table 5.D, the Party reports CH4 emissions from the category 5.D.2 industrial wastewater. TERT identified significant inter-annual variability in the CH_4 implied emission factor (IEF) of industrial wastewater, while CH4 emission levels remained stable. Notable deviations in the CH4 IEF were observed between 2019 and 2020 (25.0%), 2020 and 2021 (16.0%), and 2021 and 2022 (34.5%), but the NID is not clarifying the reason for these deviations. During the review, the Party provided additional information clarifying that CH_4 emissions from category 5.D.2 are driven by three distinct sources: (i) anaerobic digestion of industrial sludge from industrial WWTPs, (ii) anaerobic digestion of industrial sludge from collective WWTPs, and (iii) water treatment in industrial WWTPs. The main contributor to the CH4 emissions is anaerobic digestion of industrial sludge from industrial WWTPs, which shows stable emissions over time. However, the TERT noted that the activity data reported in CRT Table 5.D reflects only the quantity of organic matter discharged into industrial water by the agri-food industry using natural lagooning, based on GEREP platform reporting. As this discharged organic load is decreasing, the IEF also decreases, although the emissions and activity data are not strongly correlated. **The TERT recommends that the Party includes information in observed deviations in time series development for CH4 emissions from categories 5.D.2 for which substantial deviations in TS emissions are observed especially in recent years, in a transparent manner.**	2025 Draft BTR review report	Not implemented yet. We will add explanations in future submissions. France acknowledges the TERT recommendation regarding the inter-annual variability observed in the implied emission factors (IEF) for CH_4 emissions from category 5.D.2 (industrial wastewater). As clarified during the review, CH_4 emissions are mainly driven by anaerobic digestion of industrial sludge, which remains relatively stable over time, while the activity data reported in CRT Table 5.D reflects a decreasing organic load from specific industrial processes. France plans to enhance the transparency of the National Inventory Report (NIR) by including additional explanations of the observed deviations in the CH_4 time series and IEF development for this category in future submissions. The variability observed in the implied emission factors is primarily due to differences between the activity data reported in the CRT and the main processes driving CH_4 emissions from industrial wastewater. The National Inventory Report (NIR) did not previously provide a detailed explanation of this relationship, which has been identified as a documentation issue rather than a methodological or data-related issue.	Lack of time	NIR 5.D.2

La revue de l'UE de 2025 a relevé les points suivants, ces points ont fait l'objet de nouvelles questions en février 2026, les réponses intègrent les changements effectués jusqu'à la soumission de mars 2026. Les conclusions de la revue 2026 ne sont pas encore connus.

Year of latest EU-internal inventory review: 2025				
CRT category / issue	**Review recommendation, technical correction or revised estimate**	**Review report / paragraph**	**MS response / status of implementation**	**Chapter/section in the NIR**
FR-2A2-2025-0001 2A2 Lime Production, CO2, 2023	For 2A2 Lime Production for CO2 for 2023 the TERT noted that the implied emission factor increased by 16.0% compared to 2022. The 2023 value is the highest value in the whole time series. In response to a question raised during the review, France explained that this is due to a mistake in the estimate of emissions for 2023. Emissions from non ETS installations were over-estimated. France provided a revised estimate for year 2023 and stated that it will be included in the next submission. The TERT agreed with the revised estimate provided by France. The TERT recommends that France include the revised estimate in its next submission.	ESR review report 2025	France corrected the estimate for the non ETS installations by multiplying the correct dolomitic lime production AD with the emission factor derived from the reporting of the EU ETS installations. This methodology is applied by France for all recent years.	
FR-3A-2025-0002 3A Enteric Fermentation, CH4, 2021-2023	For category 3A1b Non-Dairy Cattle CH4 for the years 2021-2023 the TERT noted that a check calculation (GE*Ym/100*365/55,65*population) with the numbers reported in the CRT differs from emission reported. The TERT notes that this issue does not relate to an over- or under-estimate of emissions. In response to a question raised during the review, France explained that there was an issue in the weighted Ym value reported for non-dairy cattle. The values were wrongly weighted at the regional scale based on the annual average population instead of gross energy intake per subcategory. The TERT recommends that France include the provided corrected weighted values of Ym in the next submission.	ESR review report 2025	France corrected the reported weighted values of Ym for non-dairy cattle.	

FR-3B-2025-0001 3B Manure Management, CH4, N2O, 1990-2023	For category 3B Manure Management CH4 and N2O for the years 1990-2023 the TERT noted that from 2022 to 2024 TERT encouraged France to work on the improvement of accuracy of data and emissions from composting in agriculture. This year, TERT observed the type of information (notation key 'IE') reported by France remains unchanged for composting MMS compared to last year submission. The TERT notes that this issue does not relate to an over- or under-estimate of emissions. In response to a question raised during the review, France explained that this issue has been raised at the annual expert group on agricultural inventories in France and it was found that no data or research estimate seems to be readily available on agricultural composting yet. The TERT recommends that France to report any progress on this category in the NID to improve the accuracy of the data and emissions.	ESR review report 2025	Data on on-farm composting of manure is still lacking in France. The issue remains in our improvement plan for next submissions.	
FR-5-2025-0002 5 Waste, CH4, 2021-2025	For CH4 from category 5B2 Anaerobic Digestion, the TERT noted that in response to a question raised during the review France explained that emissions from biogas production from waste are included in 5B2 applying the IPCC default 5% loss rate and that emissions from biogas production from manure are included in the agricultural sector. However, the TERT noted that the total French biogas production reported in CRT Table1.A(b) is larger than what would be expected from the emissions reported under agriculture and waste. The TERT therefore suspects that some contributions to the emissions from the total biogas production are not currently included. The TERT decided not to carry out a technical correction, because due to lack of data, a technical correction would not have improved the accuracy of the estimates. The TERT recommends that France include emissions from all biogas production in the next submission.	ESR review report 2025	The biogas production from anaerobic digester reported in CRT Table 1.A(b) comes from the French energy balance whereas emissions from both waste and livestock manure are calculated based on a bottom-up approach. We are currently exploring opportunities to estimate emissions from codigestates from farm biogas plant as well as comparing total biogas production from a bottom-up approach to the energy balance figure to comment on the discrepancy. The issue remains in our improvement plan for next submissions.	

FR-4A1-2025-0002 4A1 Forest land remaining forest land, CO2, 1990-2023	For 4A1 Forest Land Remaining Forest Land in all years, the TERT noted that the NID indicates “une hypothèse de neutralité est appliquée” (an assumption of carbon neutrality is applied) - i.e. no annual C stock change estimates prepared for managed undisturbed Forest Land Remaining Forest Land in Guiana (p614). The same assumption of carbon neutrality is applied to the area of the “zone exploitée” where no harvest has previously occurred or where the forest has fully recovered from past selective harvest - i.e. annual C stock changes are only estimated in the year where the harvest occurs and in the following years assuming a rate of regrowth. Assuming living woody biomass C stocks at equilibrium in Forest Land Remaining Forest Land is not in line with the IPCC Guidelines, whose default methodological approach require an estimate of gains and losses in LB in managed Forest Land Remaining Forest Land. Moreover, the assumption contradicts the literature review provided on the same page. In a nutshell, this literature review concludes that tropical forests are a carbon sink, the value of which is likely at least equal to the emissions from deforestation and forest degradation over the entire tropical zone, which implies that undisturbed Guiana managed forests are a net sink. This is confirmed by the paper quoted in the NID (Philips and Brienen 2017) which provides estimates specific to undisturbed forests of the Guiana plateau (including French Guiana, Suriname and Guyana). Even for the “zone exploitée” alone, the QA exercise, NID page 634-635, providing a Tier 1 estimate for this area ends up with a substantial sink of 7-8 MtCO2 in Guiana. Thus, France has submitted revised estimates for all French Guiana forests. To do so France used the net of sampling plots in forest land of Guiana Guyafor, as the data source to calculate the annual average net biomass C stock change, although limited to those plots in undisturbed forest land, as well as a revised root:to:shoot ratio. Accordingly, France calculated a net sink on	LULUCF ESR review report 2025	After the centralized review, France had the opportunity to gather experts to consolidate the value used for net biomass change in forest remaining forest in French Guiana. In the PTC, the TERT used a value from Phillips, Brienen 2017, specific for Guiana shield, on above-ground biomass only. The consulted experts (from ONF, Cirad and CNRS) advised France to use a more specific value. The proposed estimate of carbon flux in above-ground biomass was obtained using data from permanent plots in the Guyafor network. On these plots, trees with DBH ≥10cm are mapped, botanically identified, and measured at a frequency ranging from 1 to 5 years. More specifically, this calculation only concerned plots that had not been subject to silvicultural experimentation and were therefore considered undisturbed. The value for biomass gains proposed is 0.28 tC/ha/yr (please refer to “Note sur le stockage de carbone dans les forêts guyanaises”, in the absence of published data). This value was mutually agreed by consulted experts in the absence of an established NFI for the moment in French Guiana, and was judged more accurate than Phillips and Brienen	NID Section 6.4

	"managed undisturbed Forest Land Remaining Forest Land in Guiana" and on the area of the "zone exploitée", where no harvest has previously occurred or where the forest has fully recovered from past selective harvest, of 0.35 tC ha-1 yr-1. France also revised the calculation of the harvested areas given the use of a different root:to:shoot ratio. The TERT noted that France submission does not contain information on the occurrence of disturbances across the entire area of in Guiana forest land. Thus, the TERT noted that the estimate may be incomplete given that losses due to disturbances, if any, are not included, which will lead to a systematic over-estimate of the net sink if disturbances occur. The TERT also noted that disturbed plots likely have a higher annual net increment than those with old growth primary forests, so that their exclusion from the calculation of the net sink will determine a systematic under-estimate of the net sink if disturbances occurs. However, given the TERT cannot judge whether the two potential errors have occurred and what will be the total net error in the calculation of the biomass C stock net change, and applying the bona fide presumption accepts the revised estimates. The TERT recommends France to provide a complete time series of estimates of managed forest land, by reporting each and every annual gain and annual loss over the entire area of managed forest land in Guiana, without any exclusions, in its next inventory submission. The TERT further recommends France avoid averaging the annual gain across a period longer than the periodical resampling of forest plots.		value. An inventory will most probably be set up in the next years in by IGN-ONFi, but the timetable is still unknown and at least 2 editions of the inventory would be necessary to have a flux, or even more to reduce uncertainty. This value is not perfectly accurate to be extrapolated to the whole of French Guiana, as there is a lot of diversity of landscapes (southern forest are not well described in the current state of the art in particular), but there was a consensus that there is no best estimate at the moment. Repeated lidars, L-VOD, flux towers estimates were considered but not judged mature or accurate enough. Then, the recommended root to shoot ratio is 0.235 (from MOKANY, RAISON, and PROKUSHKIN 2005). This increment was applied to all "undisturbed" forests (forest never exploited from ONF area, forest after 30 years of exploitation, or forest outside the ONF area). The method used for the revised estimate was implemented in the new inventory.	

FR-4B1-2025-0004 4B1 Cropland remaining cropland, CO2, 1990-2023	For 4B1 Cropland Remaining Cropland, to estimate SOC change in mineral soils in Cropland, the TERT notes that the NID (p646) attributes F_I values different from 1 based on three parameters: residue management, manure inputs and the presence of cover crops. This is done through an ad-hoc correspondence table between these practices and the IPCC default classes in the 2019 IPCC Refinements, which is not demonstrated. The share of temporary grassland also impacts soil carbon in the Cropland Remaining Cropland category through a calculation method similar to the IPCC method for land-use changes, attributing an F_LU value of 1 for temporary grassland (NID p646). While the TERT did not find information to support the use of IPCC default values for the CSCFs, the TERT notes that out of the five practices (tillage, temporary grassland, residue management, manure inputs and the presence of cover crops) for which the French NGHG calculates an impact on mineral soil carbon stocks, three are ruled out by a recent French collective scientific report (Pellerin et al., 2019) commissioned by the French government and the French Environment Agency, that identifies country-specific emission factors for soil management practices. This report concludes that 1) under French climatic conditions, tillage does not impact soil carbon storage; 2) neither does residue management on the basis that in France, carbon in crop residues always goes back to the field one way or another "En France les possibilités d'accroissement des stocks de C par les résidus de culture sont faibles car la majorité des résidus sont déjà restitués au sol, directement ou indirectement (fumiers). » (p159) and that therefore «La contribution des résidus de culture aériens au stockage du carbone dépend surtout de la quantité de biomasse produite et donc des rendements » (p159); and 3) manure inputs measured at field scale do not impact soil carbon for the same reason (they always go to one field or another), unless there is a change in the national total manure production (furthermore, a	LULUCF ESR review report 2025	Updating the methodologies for cropland and grassland in mineral soils is the main priority of the inventory that will be published in 2027. This topic was already a point of the improvement plan, and was confirmed by the LULUCF review. A special capacity building session was conducted in October 2025. As the work is still ongoing to implement these elements, no evolution will appear in the 2026 submission.	NID Section 6.5

	change in the manure production is better derived from livestock statistics rather than by the crop practices survey). More generally, based on total organic fertilisers reported in the Agriculture sector (table 3D), the national total of organic inputs to soils does not show a significant trend (7% difference between the minimum and maximum values in the 34-year time series). As a result of factoring in practices which, in the French context, do not impact soil carbon, in the NID is stated (p646) that "Le travail du sol est un des paramètres les plus importants pour l'estimation des flux de carbone des sols en France. ». France clarified during the review that (1) this sentence would need to be reassessed as it now applies the CSCFs from the 2019 IPCC Refinements for tillage, which are lower than those from the 2006 IPCC Guidelines; (2) the statement of low impact of tillage is based on 1m depth and not 0-30 cm depth which is the perimeter of the current inventory and that the 2019 IPCC refinement already considers a rather low impact of tillage; (3) estimate of manure spreading in sector 3D does not give information regarding the land use where it is spread; (4) the practices surveys are quite close to IPCC classes for cropland so it was not obvious that an additional validation or demonstration is required; (5) the practices surveys appear as a good source of information even for manure because they cover consistently several aspects (manure by crop type, mineral fertilisation by crop type, residues by crop type, tillage/no tillage by crop type, cover crops by crop type); (6) RMQS is expected in short time to bring real values from measurements for this very uncertain topic. The TERT disagrees with (4) as the IPCC categories unfortunately give no quantitative indications on the meaning of with or without (e.g. with or without fertilizers). A literal interpretation could be that with means "more than zero", but that would be problematic as applying 30 kgN/ha is much closer to zero than standard rates of 100-150 kgN/ha. In fact, France			

	neglects the mineral fertilizer criterion in Cropland, and decides, without providing evidence that supports this, on thresholds in Grassland (for example, that less than 50 kgN/ha does not count as “fertilization”). The TERT also thinks that (5) is unlikely unless France demonstrates that manure and fertilizer inputs, as obtained from the crop practice survey, are consistent with the national totals when cumulating Cropland and Grassland. Finally, regarding (2), the TERT agrees that France could legally use this argument to choose whether it keeps accounting for tillage. The TERT notes however that choosing to account for a practice despite knowing that it has no impact on climate would set an undesirable precedent. It remains that 2 practices out of 5 taken into account in the NGHGI have no impact on soil carbon and a third, organic inputs, is relying on local data which are – to the extent that the TERT can assess – inconsistent with the national totals reported in CRT table 3D. This makes the NGHGI estimates inaccurate on this aspect and unable to reflect the climate impact of policies. Given that Cropland Remaining Cropland is a key category (p53), France is required to apply Tier 2 country-specific data; in particular, IPCC Tier 1 values for emission factors and parameters are not to be used when country-specific values are available (2006 IPCC Guidelines vol1 p2.12). The TERT decided to calculate a technical correction, which was accepted by France, although France shared its disagreements with the concerns about this part of the inventory in the framework of this review. The TERT recommends that France include a complete and consistent time series of revised annual estimate of SOC stock changes in mineral soils in Cropland Remaining Cropland in its next submission, as required by the Governance Regulation. For this purpose, the TERT recommends that (1) France not account for tillage practices and residue management; (2) France use activity data for manure which is consistent with the national totals			

	reported in CRT Table 3D, for example by using the crop practices survey as a distribution key for these national totals; (3) France use its country-specific emission factors for cover crops, temporary grassland and organic inputs to grassland (Pellerin et al., 2019) or to demonstrate that other emission factors are more accurate. Obviously, a Tier 3 method would also be acceptable, provided that its validity is demonstrated in the French context and results are verified.			
FR-4C1-2025-0001 4C1 Grassland remaining grassland, CO2, 1990-2023	For 4C1 Grassland Remaining Grassland, to estimate SOC change in mineral soils in Grassland, the TERT notes that the NID (p658) attributes F_I and F_MG values different from 1 based on two parameters: fertiliser and manure inputs. This is done through an ad-hoc correspondence table between these practices and the IPCC default classes in the 2019 IPCC Refinement, for which no information on its validation is reported. While the TERT did not find information to support the use of IPCC default values for the CSCFs, the TERT notes that out of the two practices for which the French NGHG calculates an impact on mineral soil carbon stocks, one is ruled out by a recent French collective scientific report (Pellerin et al., 2019) commissioned by the French government and the French Environment Agency, which identifies country-specific emission factors for soil management practices. This report	LULUCF ESR review report 2025	Updating the methodologies for cropland and grassland in mineral soils is the main priority of the inventory that will be published in 2027. This topic was already a point of the improvement plan, and was confirmed by the LULUCF review. A special capacity building session was conducted in October 2025. As the work is still ongoing to implement these elements, no evolution will appear in the 2026 submission.	NID Section 6.6

	concludes that manure inputs do not impact soil carbon for the same reason (they always go to the field one way or another), unless there is a change in the national total manure production (furthermore, a change in the manure production is better derived from livestock statistics rather than by the crop practices survey). More generally, based on total organic fertilisers reported in the Agriculture sector (table 3D), the national total of organic inputs to soils shows a decreasing trend of -3% (although not significant) while synthetic N inputs show a significant decreasing trend of -25%. As a result of factoring in practices which, in the French context, do not impact soil carbon, the CSC in mineral soils in GLrGL are positive over most of the time series (on average 218 kt C over 2016-2023). Furthermore, this seems contradictory with the expected effect of a decreasing use of total fertiliser use (organic and mineral), as reported in table 3D over the time series. Given that GLrGL is a key category (p53), France is required to apply Tier 2 country-specific data; in particular, IPCC Tier 1 values for emission factors and parameters are not to be used when country-specific values are available. During the review, France pointed out that (1) France is currently leading a study on grassland to improve the current choices for this correspondence between IPCC classes and national statistics; and (2) RMQS is soon expected to bring real values from measurements for this very uncertain topic. The TERT decided to calculate a technical correction, which was accepted by France, although France shared its disagreements with the concerns about this part of the inventory in the framework of this review. The TERT recommends that France include a complete and consistent time series of revised annual estimate of SOC stock changes in mineral soils in Grassland Remaining Grassland in its next submission, as required by the Governance Regulation. For this purpose, the TERT recommends that (1) France use activity data for manure			

	which is consistent with the national totals reported in CRT Table 3D, for example by using the crop practices survey as a distribution key for these national totals; (2) France use its country-specific emission factors for mineral and organic inputs to grassland (Pellerin et al., 2019) or use other emission factors by providing an evidence-based demonstration that those are more accurate. The use instead of a Tier 3 method does also conform to IPCC good practice and UNFCCC reporting requirements so far its validity is demonstrated in the French context and results are verified.			
FR-4-2025-0003 4 Land use, land-use change and forestry, CO2, 1990-2023	For Land representation for all years, France uses a wall-to-wall approach which combines many data sources. How land-use is projected after the last vintage of the relevant data source, or even what are the available vintages for each data source is not explained in the NID. During the review, France explained that changes were assumed to be constant after the last available vintage. However, the examples provided by France seemed to contradict this explanation as the last vintage is 2018 for most data sources, and yet a substantial drop in land category areas was sometimes observed after that year (e.g. deforested land). The TERT therefore recommends that France improve transparency on its land representation system by 1) documenting which data source is used for identifying which land-uses and land-use changes, 2) which vintages are available for which data source and 3) how projections are made before and after the available vintages. More importantly, because the approach is very complex, the TERT recommends that France verify that the aggregated land-use change matrix (Table A.1) obtained with its complex method is consistent with the same matrix as obtained from its traditional, sampling approach based on Teruti-LUCAS. Finally The TERT notes that strictly speaking, projections should be based on surrogate data (IPCC Guidelines on time series consistency, vol1, ch5). However,	LULUCF ESR review report 2025	Extrapolation of land use dynamics has been updated to avoid the drop mentionned for deforestation. Moreover, a new land use product is included in this new subsmission (OSCGE), and allows to cover the land use dynamics for the post 2018 period. Less extrapolations need to be done, and therefore lower the need for projections methods in the recent years. We still keep in mind the comment on the projection method and its requirements.	NID Section 6.3, annex UTCATF_suividesterres

	the TERT understands that this is very challenging for land-use changes, and may not be worth the effort if France is planning to use the regular updates of the CLC+ backbone that are becoming available. The TERT recommends that France at least verify that its projection methods do not systematically lead to over- or under-estimates when checked against the recalculated values once the new vintage of data sources become available.			
FR-4A-2025-0002 4A Forest land, CO2, 1990-2023	For 4.A Forest land conversions, the TERT noted that the NID (p595) reports extremely low reference soil carbon stocks in oversea territories (with the exception of Guiana). Réunion is as low as 1.6 tC/ha, which could correspond to quasi pure sand everywhere, a surprising fact given that forests and crops exist in Réunion and would unlikely be growing on pure sand. Carbon stocks in AGB for deciduous forests in overseas territories other than Guiana are also surprising: 48-49 tC/ha for Antilles and 7 tC/ha for Réunion (NID p 587). This is substantially lower than the 131-187 tDM/ha default value for tropical moist forests (the corresponding climate according to Figure 3A.5.1 of the 2006 IPCC Guidelines) proposed in the IPCC 2019 Refinements (page 4.22). Similar questions arise for deadwood and litter (~ 1 tC/ha or lower, except for Guiana, NID p248). During the review, France explained that the biomass stocks in Réunion were not the average, but rather a representative value for "Forêt mégatherme semi-xérophile", which is the type of forest subject to deforestation, and not of tropical moist forests which are also present in Réunion but are not subject to deforestation. The TERT nevertheless	LULUCF ESR review report 2025	The actualisation of these reference carbon stock is part of the improvement plan. It could be from the 4p1000 Outre Mer, but has not yet been implemented for this submission.	NID Section 6.4

	thinks that a land with as little as 7 tC/ha in AGB is unlikely to reach the criteria set by France for forest definition, and that 1.6 tC/ha in SOC is even more unrealistic. The TERT therefore recommends that France revise the reference stocks in biomass and soils in its overseas territories or provide evidence that these low values are realistic (e.g. very few, thin trees per hectare nevertheless reaching 10% crown cover and 5m height). Nevertheless, the TERT agrees with France that these territories being very small, the associated errors in estimated emissions and removals are likely not significant.			
FR-4A-2025-0001 4A Forest land, CO2, 2012-2023	For 4A Forest Land representation for years 2012-2023, the TERT noted that the NID, page 578, explains that only net forest change, without distinguishing gross afforestation and gross deforestation, is monitored in Guiana, and that this monitoring is based on a publication from 2021. During the review, France confirmed that after 2019, the net forest change was assumed to be constant in Guiana. The TERT notes that regularly updated remote sensing products such as the Global Forest Watch (https://www.globalforestwatch.org/) database would in principle allow to monitor forest changes in Guiana, distinguishing gross afforestation and gross deforestation. The TERT notes that the current approach used by France to identify land-use changes in Guiana corresponds to approach 1 or 2, but is neither approach 3 nor geographically explicit, as required by the Governance Regulation. The TERT therefore recommends that France implement a geographically explicit identification system of land-use conversion in Guiana, as required by the Governance Regulation.	LULUCF ESR review report 2025	The actualisation of the land use changes method in oversea territories is part of the improvement plan. French Guiana will be the first priority. The work will be merged with the spatial analysis of above ground biomass, linked to the revised estimate of 2025.	NID Section 6.4

FR-4A-2025-00044 Land use, land-use change and forestry, CO2, 1990-2023	The TERT noted that the NID indicates (p622) that IGN estimates harvested volumes at 0.94 Mm3/yr on average from deforested land: « Ces volumes défrichés sont estimés à environ 0,94 Mm3 de bois fort tige par an en moyenne sur les années couvertes. ». On the other hand, deforestation in recent years (e.g. 2019, 2022) is around 34 kha/yr which, multiplied by a reference stock of 62-80 tC/ha for AGB (p588), would give an estimate around 8.7 MtCO2 (that is approximately 8.7 Mm3). During the review, France explained that the discrepancy may be explained by the concentration of deforestation in regions with low carbon stocks. However, according to table 245 (p588), it seems that the only possibility consistent with this explanation would be that almost all deforestation takes place over shrubland: even using the lower bounds over forest types would divide our estimate by 3, not 10. This seems unlikely. The TERT therefore recommends that France investigate whether the share of HWP coming from deforestation is accurately estimated.	LULUCF ESR review report 2025	Discussions have started with the French Forest Inventory Team. No changes are included in this submission, but we are digging into this.	NID Section 6.3
FR-4A2-2025-00044A2 Land converted to forest land, CO2, 1990-2023	For 4.A.2. Land Converted to Forest Land in all years, the TERT noted that the NID (p614) explains that in Guiana, “Pour les terres ayant été boisées depuis moins de 20 ans, la valeur de 1 tC/ha/an est utilisée, en cohérence avec la valeur utilisée pour estimer l’accroissement sur les terres ayant subi une exploitation. » This seems to contradict the general section on land-use changes where forest biomass stocks in Guiana are estimated at 166 tC/ha (p587), a value which is assumed to be reached after 40 years. During the review, France explained that the fluxes concerned were small, as afforested area in Guiana is around 1,000 ha/yr. The TERT notes that Poorter et al. (2016) reports an average growth of 3 tC/ha/year on fallow land over the first 20 years in the tropical context, reaching approximately 50% (and after 30 years, approximately 65%) of the stock of primary forests in a similar and comparable context. The TERT recommends that France report revised estimates that are compatible	LULUCF ESR review report 2025	We already follow the recommandation to use a compatible CSC in afforested land and CSC and in forest land remaining forest land that recovers from selective harvest (around 1 tC/ha/an). However, the value of 166 tC/ha is not reached in 40 years as pointed out by this comment. After 40 years, an increment is now applied (and is the same as in forests remaining forests).	NID Section 6.4

	between CSC in afforested land and CSC as in forest land remaining forest land that recovers from selective harvest.			
FR-4C1-2025-0002 4C1 Grassland remaining grassland, CO2, 2018	For 4.C.1. Grassland Remaining Grassland, the TERT noted in CRT tables 4.C that 2018 is an outlier with -2.9 MtCO2e in removals, versus less than half that figure in 2017 and 2019. During the review, France explained that at the end of the examination of the 2018 Common Agricultural Policy files in spring 2019, some grassland declared as PTR (temporary grassland) have been reclassified after analysis by the administration as PRL (Grassland in rotation of more than 5 years) or PPH (permanent grassland). This does not have an impact on soils because temporary grassland and permanent grassland in the gridded model have the same reference carbon stock, but it does have an impact on herbaceous biomass. The TERT notes that this administrative change also shifts land from grassland to cropland. Both the reported C stock change estimates and the change in category are an administrative artefact which does not correspond to actual emissions/removals. The TERT therefore recommends that the temporary grassland time series be considered as coming from two different data sources before 2018 and from 2018 onwards, and that France use methods in the IPCC Guidelines on time series consistency (vol1, ch5), possibly using LUCAS or CLC data as surrogate, to ensure time series consistency and, accordingly to recommendation in FR-4C1-2025-0001, recalculate and report a consistent and complete time series of annual estimates of C stock changes in each C pool in Grassland remaining Grassland.	LULUCF ESR review report 2025	The 2018 artefact is a prioritary issue but the correction is not implemented yet. A specific analysis of the land use pattern of the LPIS product is planned, and will most probably be corrected at the grid level to allow the extraction at lower scales for other inventory purposes. If not possible, we keep in mind the possibility to use other data sources to make this correction.	NID Section 6.6

FR-4D-2025-0002 4D Wetlands, CO2, N2O, 1990-2023	For 4D1a Wetlands peat extraction for all years, the TERT noted that in CRT tables 4.D the ICSC (-100 to -50 tC/ha) is the highest in the EU in absolute value. Typical values are between -2 to -14 tC/ha, that is at least three times lower than France's estimates. During the review, France proposed two possible explanations for this outlying position. First, its area reporting could be lower than other Member States as France does not report sites that stopped operating, even if they have not been restored. Second, extraction techniques could be more efficient in France. The TERT recommends 1) that France provide evidence to support these explanations by comparing its approach with other Member States and 2) that France recalculate a complete and consistent time series of CO2 and N2O emissions from organic soils in CRT category 4D1a to ensure that unrestored former peat extraction sites are still reported as drained organic soils.	LULUCF ESR review report 2025	Further clarification will be added next year to the National Inventory Report to clarify this issue. In France, peat extraction is carried out on flooded wetlands. As a result, extraction sites are considered restored and do not generate "on-site" emissions. Consequently, France estimates only "off-site" emissions. When extraction stops, a site is no longer considered emissive and is therefore removed from the activity data under category 4D (Wetlands – Peat Extraction). Reported emissions thus relate exclusively to active extraction sites and to the quantities of peat extracted. In France, extracted peat is used entirely for horticultural purposes meaning that all associated emissions are therefore reported under category 4D. The much higher implied emission factor observed for France (around 50 times higher) is explained by important amount of peat extracted reported on a small areas. The absence of areas with "on-site" emissions from former extraction sites combined with the reporting of substantial "off-site" emissions over only active and dynamic area of extraction sites. It should also be noted that implied emission factors in the range of 2 to 4 tC/ha typically	NID Section 6.7

			correspond only to “on-site” emissions meaning that MS reporting values in this range generally do not include “off-site” emissions under the Wetlands category.	

Year of latest EU-internal inventory review:	**2024**			
CRT category / issue	Review recommendation, technical correction or revised estimate	Review report / paragraph	MS response / status of implementation	Chapter/section in the NIR
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 decompose anaerobically in septic tanks (EQUATION 6.1 (UPDATED)) will be (TOW-S) = TOW x (1-0.5xF) = TOW x 0.675.	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.

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 2024. 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. Un travail de mise à jour de cette valeur a été initié, et une correction technique est en préparation pour transmission provisoire courant 2026.

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. 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	-47779	-45608	-47586	-48778		-189752		31846
	thereof Forest land remaining Forest land	-47779	-45608	-47586	-48778		-189752		
	thereof HWP from Managed forest land [8][9]	-2245	-1717	167	374		-3422		
	thereof HWP in the category of paper from Managed forest land [8][9]	143	96	723	763		1725		
	thereof Dead wood [8]	-21469	-21986	-21911	-22560		-87926		
	Forest Reference Level (FRL) [6]							-55399	
	Forest management cap [8]							76520	31846
A.2	Afforested Land	-14982	-15073	-15116	-15096		-60266		-60266
	thereof HWP from Afforested land [9][11]	0	0	0	0		0		
A.3	Deforested Land	17779	17783	17960	17988		71509		71509
A.4	Managed Cropland [1]	10412	10020	10605	9298		40334	14453	-17478
A.5	Managed Grassland [1]	-6479	-5936	-6087	-5575		-24076	-8327	9231
B	Elected accounting categories								
B.1	Managed Wetland (if elected)								
	TOTAL								34842

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_mars2026.pdf"** contient le corps du texte et les annexes à l'exclusion des tables du CRT.

2 - CRT France UE :

Les fichiers **"FRA_CRT-2026_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, 2023 et 2024.

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] Base de données du registre des émissions polluantes (BDREP) – 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 PM_{10}. 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 (PM_{10} - $PM_{2.5}$ - $PM_{0.1}$) 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 CO_2 de la France - KOUSNETZOFF N. et CHAUVIN S. - Juin 2003

[85] SSP / 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 PM_{10} 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, PM_{10} - $PM_{2,5}$ - $PM_{0,1}$), 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 CH_4, 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 CO_2 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 : PM_{10}, $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$ et $PM_{0,1}$ – 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

[334] GRDF – Communication annuelle des émissions nationales de CH_4 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 » (publication annuelle)

[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 NH_3 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 - CH_4 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 CH_4, CO_2, SOx et NOx issues des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, mars 2003

[428] SOLAGRO – Note méthodologique : « Note d'estimation des gaz CH_4 - CO_2 - SO_x - NO_x 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 2019 – secteur 1A1b – SNAP 010301/010302/010306 – tables 4-2 à 4-6

[447] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 – secteur 1A1b – SNAP 010305 – tables 4-7 et 4-8

[448] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 – secteur 1A1a – SNAP 010304 assimilée à SNAP 010104 et 010105 – tables 3-17 et 3-18

[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] CORINAIR - Handbook 2nd edition - Janvier 1992 - Commission of european community - Part 6 p 4/4.2 et part 8 p4/3.2

[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, 2021

[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 CO_2 des véhicules particuliers en application du règlement 443/2009

[546] ONISR (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) (publication annuelle)

[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 2023 – 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 (CO_2) ; Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 (CH_4 et N_2O)

[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 SF_6 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] Société chimique de France, Caractéristiques des gisements de gaz naturel, téléchargé en ligne le 24/08/2017

[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 SF_6 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 de 2008 à année N-1 – production de polyesters (codes 2016407000; 2016408000)

[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 2023, 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 2023, 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 2023, section 1.A.1 Energy industries, table 3-6 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/#_, dernière consultation le 30/01/2026

[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 2023 - 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

[921] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.3.d Navigation -shipping

[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 2023- 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 2023 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-4 / 3-6 / 3-7 / 3-8 / 3-13 / 3-21, 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 2023 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-3 / 3-4 / 3-5 / 3-6 / 3-7/3-9, FE TSP, CO, NH3 et COVNM

[940] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 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 2019, 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 2023 - 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 2023, 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 2023 - 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 2023

[1011] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry 201923 - Table 3.39 and Table 3.40, p40 et p41

[1012] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry 201923 - 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] (publication annuelle)

[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 2023, section 2A1 Cement production – table 3.1

[1065] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook - table 3-24 - cement production - 1A2, Edition 2023

[1066] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, section 2A3 Glass Production, tables 3.2 à 3.7

[1067] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, section 2A2 Lime Production, table 3.1

[1068] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - Chapter 2A2 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1

[1069] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - Chapter 2A3 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1

[1070] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 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] Natran (ex-GRTgaz) – Communication annuelle des émissions nationales de CH4 au CITEPA

[1076] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 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 2023, Part B section 2C5 Lead production

[1079] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2023, 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 2023, 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 2023, 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 2023 - 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 2023 - 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 2023 - 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, https://www.fao.org/faostat/fr/#data

[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 2019 – 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 3-7

[1188] EMEP / EEA 2019 – 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] Atlas des tourbières de l'université de Franche Comté - WWF. 2025

[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 201923 - 2H2 Food and Beverages industry, table 3-7 FE COVNM de la fermentation

[1207] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, 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- Avec mise à jour 2025 des facteurs d'émission des poêles à granulés et à bûches éco-conçus, Ineris & Citepa - 206576 - 2740861 – v3.0

[1214] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 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, Solid Waste Disposal

[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

[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 2023, 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 2023 - 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 2023, section 1A1 Energy industries - Table 3-19 - 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 2023 - 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 2023 – 1A4 Small combustion - FE BC pour le 1A4b residential (Tables 3.3 et 3.4)

[1273] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.4 Small combustion, tables 3-7 / 3-8 / 3-9 / 3-23 / 3-45 pour FE BC

[1273] HEFA Production and Feedstock Selection 2019, CBSCI

[1274] DASSOT Mathieu, COMMAGNAC Loïc, LETOUZE Frédéric, COLIN Antoine. 2022. Stocks de bois et de carbone dans les haies bocagères françaises. 66 pages.

[1274] CARBURE : La plateforme de gestion des flux de biocarburants, https://carbure.beta.gouv.fr/

[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

[1275] INSEE - Statistiques annuelles de l'habitat individuelle et collectif

[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

[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] Mouillot et al, 2006 - Global Carbon Emissions from biomass burning in 20th century. Geophysical Research Letters 33(1).

[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] Communication 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

[1302] AGRESTE, Enquête annuelle de production commercialisée (EAPC) 2022

[1303] EMEP/EEA Lignes directrices 2023, chapitres 1A1, 1A2 et 1A4, tableaux associés au gaz naturel

[1304] Contrôle de la qualité des carburants en stations-service et de certains combustibles liquides en dépôts en France selon la Directive Européenne 98/70/CE - FQMS - mesures annuelles

[1305] ALBINET Alexandre, DEGRENDELE Céline, COLLET Serge, WORTHAM Henri, 2024. Emissions primaires et secondaires de particules par des appareils de chauffage domestique à granulés - EPOCHAG / Comparaison avec des appareils à bûches et au fioul. Rapport. 75 pages.

[1306] Eulry 1983. Recherches de gisements de tourbes en Languedoc-Roussillon. Sitologie et données économiques, Etude de quatre tourbières du Plateau d'Aubrac. BRGM

[1307] Manneville Olivier, 1999. Les tourbières de France : causes de régression, intérêts de leur conservation, mise au point nomenclaturale. Le Journal Botanique. 12pp 73-82.

[1308] Le lien horticole n°848-849, juin 2013.

[1309] Echo des tourbières n°14, juillet 2007, p.1

[1310] Julve, Philippe (1994). Les tourbières de France : répartition, caractères biogéographiques, fonctionnement écologique et dynamique, valeur patrimoniale. Bulletin de l'Association de Géographes Français, 1994. 71-3 pp. 287-293

[1311] Concervatoires d'Espaces Naturels. Pôle Tourbière. 2006. A la découverte des tourbières. "Les menaces".

[1312] Joosten H. 2009. Global Status of Peatland CO2 picture. Peatland status and emissions in all countries of the world. Greifswald University, Wetlands International, Ede.

[1313] Barthélémy F., 1999. Mêmento roches et minêraux industriels la tourbe et les tourbières. Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 99-G-185.

[1314] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2023 - Part B section 2C7b Nickel production - Table 3.1

[1315] Inra, 2018. Alimentation des ruminants, Editions Quae, Versailles, France, 728 p.

[1316] Cniel, 2018. Le pâturage des vaches laitières françaises

[1317] Groupe ERAMET - Résultats annuels (annuellement depuis 2013)

[1318] Inventaire de la Nouvelle-Calédonie - 2C_Métallurgie

[1319] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - Part B section 1A2 Manufacturing industries

[1320] Syndicat National des Industries de la Préservation du Bois (SPB), 2024, Communication avec M. Thomas Cousin et M. Eric Heisel

[1321] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.2 Manufacturing industries and construction (combustion), table 3-7 Iron and steel gases

[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/

[1323] FranceAgriMer, 2020. L'Observatoire National des Ressources en Biomasse - Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France – édition décembre 2020.

[1324] IDELE, ITAVI, ITCF, ITP, 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme.

[1325] Comité Régional Bâtiment Bretagne, Institut de l'Élevage, Groupe Traite Pays de la Loire, 2007. Choisir une installation de traite.

[1326] IDELE, 2019. Calcul des capacités de stockage des effluents d'élevage ruminant, équin, porcin, avicole et cunicole, Méthodes et outils.

[1327] IFIP, 2014. La consommation d'eau en élevage de porcs - Des leviers pour réduire la consommation d'eau en élevage de porc.

[1328] INSEE, 2016, Mode de traitement des déchets en 2016 Enquête sur la production de déchets non dangereux dans l'industrie - Insee Résultats

[1329] Ademe, 2024, SEA Métha Suivi d'exploitation annuel méthanisation. Extraction d'une partie de la base de données communiquée au Citepa dans le cadre des inventaires.

[1330] HUANG Y., NOZIERE P., SOUVIGNET P., DELABY L. Estimation simplifiée des interactions digestives au sein des rations des vaches laitières à partir du système d'alimentation Inra 2018. Rencontre Recherche Ruminants, 2024.

[1331] EMEP 2023, Chapitre 3.D - Crop production and agricultural soils

[1332] EMEP 2023, Chapitre 3.D.f- Agriculture Other including use of pesticides

[1333] EMEP 2023, Chapitre 3.F - Field burning of agricultural residues

[1334] EMEP 2023, Chapitre 5.C.2- Open burning of waste

[1335] Biomasse Normandie, 2024, Etat des lieux de la méthanisation Normandie 2023 - Mars 2024

[1336] Ademe, Observation régionale de la méthanisation en région Grand Est

[1337] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.1 Energy industries, FE CO Tier 1 tables 3-5 (gaz sidérurgiques) et 3-8 (biomasse solide)

[1338] EMEP 2023, Chapitre 3.B - Manure Management

[1339] LLOYD'S – Base de données Fairplay, flotte et caractéristiques techniques des navires, 2019

[1340] Directive 2005/33/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 juillet 2005 modifiant la directive 1999/32/CE en ce qui concerne la teneur en soufre des combustibles marins

[1341] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1-a-4-small-combustion - Tables 3.10 - Tier 1 emission factors for NFR source category 1.A.4.b, using biomass

[1342] UGPVB, 2023, Bilan des stations de traitement 2019

[1343] EMEP 2023, Chapitre 5.B.2. Biological treatment of waste - anaerobic digestion at biogas facilities

[1344] Citepa, Fncuma, Fnedt, 2022, Travaux d'amélioration des inventaires nationaux de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques par une meilleure prise en compte des agroéquipements. Rapport d'étude.

[1345] SDeS, Memento statistique des transports ferroviaires 2019, https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/memento-de-statistiques-des-transports-2019

[1346] SDeS – Bilan annuel des transports - Edition annuelle

[1347] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 – 1.A.4 Small combustion, Table 3-28 p59 et Table 3-30 p61

[1347] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.B.1.a Fugitive emissions from solid fuels: Coal mining and handling, table 3-2, 3-3 et 3-7

[1348] EMEP/EEA – Emission Inventory Guidebook 2023 – 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in oil and gas extraction (p 7 - table 3-1)

[1349] EMEP/EEA Emissions Inventory Guidebook 2023 - 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in oil refineries (p11 - Table 3-4)

[1350] Indicateurs de gestion durable des forêts française - IGN - Indicateur 4.5

[1351] Quantité de déchets stockés en ISDND - TGAP. Direction générale de la Prévention des risques / Direction générale des Finances publiques

[1352] https://centrespatialguyanais.cnes.fr/fr/historique-lancements

[1353] https://en.wikipedia.org/wiki/Ariane_1

[1354] https://fr.wikipedia.org/wiki/Ariane_2

[1355] https://fr.wikipedia.org/wiki/Ariane_3

[1356] https://fr.wikipedia.org/wiki/Ariane_6

[1357] https://fr.wikipedia.org/wiki/Vega_(fus%C3%A9e)

[1358] https://fr.wikipedia.org/wiki/Soyouz_(fus%C3%A9e)

[1359] Communication avec Ariane Espace (26/10/2010)

[1360] Santé publique France, Baromètre résultats édition 2024

[1361] ORSaG (Guadeloupe), Bulletin de santé publique, 2021

[1362] ARS Mayotte, Une consommation de tabac, alcool et autres psychotropes à Mayotte, très masculine, 2025

[1363] France info la 1ère, Alcool, tabac, cannabis... Les jeunes Calédoniens champions d'un classement pas très glorieux, août 2025

[1364] France info la 1ère, Alcool, tabac, cannabis... Le prix du tabac pas assez dissuasif à Saint-Pierre et Miquelon ?, février 2021

[1365] Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre - Chapitre 2 - Combustion stationnaire - Tables 2.6 ; 2.7 et 2.10 - FE CH4 et N2O

[1366] Note GCIIE octobre 2025 - Action 1-84 - FE NOx/CO/TSP - Synthèse Airparif, Mesures à l'émission de chaufferies biomasse < 500 kW/ Cortea ACIOBIOQA, Ademe / Feldmeier et al., 2019/ Rezeau et al., 2018/ Altaher et al., 2015.

[1367] Édition annuelle du Jeu de données du transport ferroviaire de l'Autorité de régulation des transports, https://ftp.autorite-transports.fr/ART_donnees_transport_ferroviaire.xlsx

[1368] Le Marché européen du transport ferroviaire en 2022, Autorité de Régulation des Transports, 2023

[1369] Agreste - Enquête sur la structure des exploitations agricoles 2013 (périmètre France métropolitaine)

[1370] Agreste - Enquête sur la structure des exploitations agricoles en 2023 - principaux résultats (périmètre France métropolitaine). Données téléchargeables sur : https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Chd2511/detail/. Consulté le 30/01/2026

[1371] de Ruijter, F.J., Huijsmans, J.F.M., 2019. A methodology for estimating the ammonia emission from crop residues at a national scale. Atmospheric Environment: X 2, 100028. https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100028

[1372] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.B.1.a Fugitive emissions from solid fuels: Coal mining and handling, table 3-2, 3-3 et 3-7

[1373] Service statistique du Ministère en charge de l'environnement – SDES. Données brutes du trafic maritime de marchandises par type de fret, par port et par année. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/le-trafic-maritime-en-france-tres-legere-baisse-du-fret-en-2024, dernière consultation le : 27/11/2025

[1374] GIEC – Raffinement 2019, Chapitre 4, Fugitive emissions, Table 4.2.4B, p4.57

[1375] COPACEL - Données de production de pâte à papier mécanique

[1376] GIEC 2006 , Vol. 2, Chap. 2, Table 2.2 Default emission factors for stationary combustion in the energy industries

[1377] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.1.b Petroleum refining, Table 4-6

[1378] UFIP, Etude sur les réseaux de distribution de carburants en France. Mai 2013 et Mars 2015

[1379] Terega – Communication au Citepa, mail du 10 novembre 2025

[1380] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.1.b Petroleum refining – SNAP 010301/010302/ 010306, Tables 4-4 à 4-8

[1381] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 1.A.1.b Petroleum refining – SNAP 010305, Tables 4-9 et 4-10

[1382] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, section 1A1 Energy industries – SNAP 010305, Table 3-22 - Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.a, engines using natural gas

[1383] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - 2.D.3.g Chemical products, Table 3-8 (asphalt blowing)

[1384] EPA US AP 42, Fifth Edition Volume I Chapter 1 External Combustion Sources - FE HAP

[1385] Citepa, 2025. Rapport CCNUC - Rapport n°2590 CRT/ 2025

[1386] Nasa, Fire Information for Resource Management System (FIRMS), VIIRS 375m data from S-NPP, https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/

[1387] Agence Bio, historique détaillé des surfaces, cheptels et nombre d'opérateurs par commune (publication annuelle)

[1388] HEFA Production and Feedstock Selection 2019, CBSCI

[1389] CARBURE : La plateforme de gestion des flux de biocarburants, https://carbure.beta.gouv.fr/

[1390] 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)

[1391] Stocks et prélèvements actuels de bois dans les haies bocagères, IGN, M. DASSOT, L. COMMAGNAC, F. LETOUZE, A. COLIN, https://librairie.ademe.fr/agriculture-alimentation-foret-bioeconomie/8668-stocks-et-prelevements-actuels-de-bois-dans-les-haies-bocageres.html#product-presentation

[1392] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, section 2.D.3.a Domestic solvent use including fungicides, table 3-3

[1393] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, section 2.D.3.i, 2.G Other solvent and product use, table 3-5

[1394] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, section 2.B Chemical industry table 3.3

[1395] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - table 3.44

[1396] Données VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) - NASA S-NPP

[1397] Évaluation du puits de carbone dans les sols forestiers français (Annexe T7.1.2 de l'étude Projection IGN FCBA 2024) - Augusto et al. 2024

[1398] Directive 2009/30/CE du Parlement Euroopéen et du Conseil du 23 avril 2009 modifiant la directive 98/70/CE en ce qui concerne les spécifications relatives à l'essence, au carburant diesel et aux gazoles ainsi que l'introduction d'un mécanisme permettant de surveiller et de réduire les émissions de gaz à effet de serre, modifiant la directive 1999/32/CE du Conseil en ce qui concerne les spécifications relatives aux carburants utilisés par les bateaux de navigation intérieure et abrogeant la directive 93/12/CEE

[1399] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023; 2.C.2 Ferroalloys production

[1400] IEDOM, Rapport annuel économique, 2024, Guadeloupe, Martinique, La Réunion https://www.iedom.fr/Publications

[1401] AGRESTE - Récolte de bois et production de sciages en 2023 https://www.agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Chd2501/detail/;jsessionid=XgvcgQWC0sRagWZs1VXoSvBJB7RiqoCD7_XYEJ-s.stats-prod-wildfly-5-zsg-cdpagri-fr-20200

[1402] Rapport AFCE Fluides frigorigènes - Septembre 2025 - Inventaire des émissions de fluides frigorigènes pour la France métropole - AFCE (Alliance Froid Climatisation Environnement) https://www.afce.asso.fr/rapport-septembre-2025-fluides-frigorigenes/

[1403] Rapport National d'Inventaire 2020, section 2F1, transports frigorigiques. La méthode de reconstitution de l'évolution des fluides frigorigènes dans le transport ferroviaire y est détaillée.

[1404] https://www.kpler.com/product/maritime/container-intelligence#terminal

[1405] Rapport du Technical Option Commitee 2002 de l'UNEP (https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-05/RTOC2002.pdf)

[1406] Les entrepôts et leur activité. Chiffres & statistiques Commissariat général au Développement durable N°334 Juillet 2012 https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/media/1430/download?inline

[1407] Logistique | Données et études statistiques

[1408] Entrepôts frigorifiques: entre obsolescence et opportunités d'investissement https://www.arthur-loyd.com/actualites/entrepots-frigorifiques-entre-obsolescence-et-opportunites-d-investissement

[1409] Union Syndicale Nationale des Exploitations Frigorifiques https://www.usnef.fr/

[1410] Communication confidentielle de Jérome Maldodano, Uniclima (https://www.uniclima.fr), pour le Citepa

[1411] Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre - Chapitre 7 - ÉMISSIONS DE SUBSTITUTS FLUORÉS DE SUBSTANCES APPAUVRISSANT L'OZONE - Tableau 7.9

[1412] Mari, J.F., Gobillot, A., Benoît, M., 2018. Simulation temporelle et spatiale des changements d'occupation du sol par modélisation stochastique. Rev. Int. Geomat. 28, 219–242. https://doi.org/10.3166/rig.2018.00051

[1413] Guide EMEP / EEA 2023 – Section 1.B.2.a.v Distribution of oil products, table 3-9 et 3-4

[1414] Guide EMEP / EEA 2023, 1.B.2.a.v Distribution of oil products, Table 3-8

[1415] Note sur le stockage de carbone dans les forêts guyanaises. Géraldine Derroire. Juin 2025

[1416] Cirad - Réseau de mesure Guyafor https://dataverse.cirad.fr/dataverse/guyafor

[1417] Chave, Jérôme, Maxime Réjou-Méchain, Alberto Búrquez, Emmanuel Chidumayo, Matthew S. Colgan, Welington B. C. Delitti, Alvaro Duque, et al. 2014. "Improved Allometric Models to Estimate the Aboveground Biomass of Tropical Trees." Global Change Biology 20 (10): 3177–90. https://doi.org/10.1111/gcb.12629.

[1418] MOKANY, KAREL, R. JOHN RAISON, and ANATOLY S. PROKUSHKIN. 2005. "Critical Analysis of Root : shoot Ratios in Terrestrial Biomes." Global Change Biology 12 (1): 84–96. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001043.x

[1419] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 -1.A.3.b.v Gasoline evaporation

© Citepa 2026

www.citepa.org
infos@citepa.org
42, rue de Paradis
75010 PARIS