



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE



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

CCNUCC

Mars 2022



Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE



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

Mars 2022

Rédaction	
	<i>Noms</i>
Rédacteur principal	Grégoire BONGRAND
Contributeurs	Jean-Marc ANDRE, Stéphanie BARRAULT, Romain BORT, Benjamin CUNIASSE, Eunice DOSSA, Ariane DRUART, Anaïs DURAND, Etienne FEUTREN, Tara GLASS, Lisa GRELLIER, Valérie IMAD, Coralie JEANNOT, Mélanie JUILLARD, Bernardo MARTINS, Etienne MATHIAS, Vincent MAZIN, Sophie MOUKHTAR, Colas ROBERT, Natalia SIRINA-LEBOINE, Felipe TRONCOSO-LAMAISSON, Tamara VIEIRA DA ROCHA, Julien VINCENT

Vérification		
	<i>Nom, Fonction au sein du CITEPA</i>	<i>Date</i>
Vérification	Différents chefs de départements et d'unités	14/03/2022
Approbation finale	Jean-Pierre CHANG, directeur adjoint	15/03/2022

Pour citer ce document :

Citepa, 2022. Rapport CCNUCC

© Citepa 2022

Ce Rapport a été réalisé avec la participation financière du Ministère de la Transition Écologique (MTE).

Ce document constitue le rapport national d'inventaire au titre de la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques, édition mars 2022.

La PARTIE 1 constitue le rapport relatif à l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre pour la France, préparé par le Citepa.

La PARTIE 2 contient les informations supplémentaires requises dans le cadre de l'article 7.1 du Protocole de Kyoto, préparées par la Caisse des Dépôts, le MTE, le MINEFI, le MAA et le Citepa.

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

Rapport n°2071CRF/ 2022 | CCNUCC_France_2022.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 :

Centre Interprofessionnel Technique d'Étude de la Pollution Atmosphérique (Citepa)
42, rue de Paradis - 75010 PARIS - Tel. 01 44 83 68 83 - Fax 01 40 22 04 83

www.citepa.org | contact@citepa.org



I/G

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	5
Table des figures.....	16
Table des tableaux	22
Préambule	31
Résumé	33
1 INTRODUCTION	42
1.1 Généralités sur les inventaires de gaz à effet de serre et les changements climatiques.....	42
1.2 Système national d'inventaire	45
1.2.1 Dispositions institutionnelles, législatives et procédurales	45
1.2.2 Planification, préparation et management	49
1.2.3 Assurance qualité, contrôle qualité et vérification	51
1.2.4 Modification depuis la dernière soumission.....	61
1.3 Préparation des inventaires, collecte des données, traitement et archivage	62
1.4 Généralités sur les méthodes et les sources de données utilisées.....	70
1.4.1 Principes méthodologiques.....	72
1.4.2 Méthodes de calculs et facteurs d'émission utilisés.....	75
1.4.3 Cohérence entre l'inventaire CCNUCC et les déclarations au titre du SEQUE .	78
1.5 Catégories clés	79
1.5.1 Analyse Tier 1	80
1.5.2 Analyse Tier 2	81
1.5.3 Vue d'ensemble des sources clés	83
1.6 Évaluation des incertitudes.....	85
1.7 Exhaustivité des inventaires.....	88
2 EVOLUTION DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE	97
2.1 Évolution globale des émissions de gaz à effet de serre	97
2.1.1 Évolution en France - périmètre Kyoto.....	97
2.1.2 Particularités des émissions de la Métropole et des territoires Outre-mer inclus dans l'UE	100
2.1.3 Évolutions des émissions au titre de la Convention	101
2.1.4 Évolution des émissions par gaz à effet de serre direct	103
2.1.5 Évolution des émissions des gaz à effet de serre indirect.....	109
2.2 Évolution des émissions par sources émettrices.....	110
3 ENERGIE (CRF 1)	125

3.1	Présentation générale du secteur	125
3.2	Consommation de combustibles (CRF 1A)	132
3.2.1	Comparaison de l'approche sectorielle avec l'approche de référence.....	132
3.2.2	Soutes internationales	141
3.2.3	Caractéristiques communes pour la combustion (1A)	145
3.2.4	Industrie de l'énergie (1A1).....	156
3.2.5	Industrie manufacturière (1A2).....	173
3.2.6	Transports (1A3).....	212
3.2.7	Autres secteurs (1A4)	257
3.2.8	Autres (1A5)	269
3.3	Émissions fugitives des combustibles (CRF 1B)	273
3.3.1	Combustibles solides (1B1).....	273
3.3.2	Combustibles liquides et gaz naturel (1B2).....	277
3.4	Transport et stockage de CO ₂ (CRF 1C).....	291
3.4.1	Injection et stockage (CRF 1C2).....	291
4	PROCEDES INDUSTRIELS (CRF 2)	293
4.1	Présentation générale du secteur	293
4.2	Produits minéraux (CRF 2A)	294
4.2.1	Caractéristiques de la catégorie	294
4.2.2	Méthode d'estimation des émissions	301
4.2.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	313
4.2.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	314
4.2.5	Recalculs.....	315
4.2.6	Suivi des recommandations des revues	316
4.2.7	Améliorations envisagées.....	319
4.3	Chimie (CRF 2B).....	319
4.3.1	Caractéristiques de la catégorie	319
4.3.2	Méthode d'estimation des émissions	325
4.3.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	335
4.3.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	336
4.3.5	Recalculs.....	336
4.3.6	Suivi des recommandations des revues	338
4.3.7	Améliorations envisagées.....	340
4.4	Métallurgie (CRF 2C).....	341
4.4.1	Caractéristiques de la catégorie	341

4.4.2	Méthode d'estimation des émissions	347
4.4.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	356
4.4.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	357
4.4.5	Recalculs.....	359
4.4.6	Suivi des recommandations des revues	360
4.4.7	Améliorations envisagées.....	361
4.5	Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants (CRF 2D) 361	
4.5.1	Caractéristiques de la catégorie	362
4.5.2	Méthode d'estimation des émissions	363
4.5.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	369
4.5.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	370
4.5.5	Recalculs.....	370
4.5.6	Suivi des recommandations des revues	371
4.6	Industrie électronique (CRF 2E).....	372
4.6.1	Caractéristiques de la catégorie	372
4.6.2	Méthode d'estimation des émissions	373
4.6.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	374
4.6.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	374
4.6.5	Recalculs.....	374
4.6.6	Améliorations envisagées.....	374
4.7	Consommations d'halocarbures et SF6 (CRF 2F)	375
4.7.1	Caractéristiques de la catégorie	375
4.7.2	Méthode d'estimation des émissions	383
4.7.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	452
4.7.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	452
4.7.5	Recalculs.....	453
4.7.6	Suivi des recommandations des revues	454
4.7.7	Améliorations envisagées.....	455
4.8	Autres usages et fabrication de produits (CRF 2G).....	455
4.8.1	Caractéristiques de la catégorie	455
4.8.2	Méthode d'estimation des émissions	458
4.8.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	461
4.8.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	462
4.8.5	Recalculs.....	462
4.8.6	Suivi des recommandations des revues	463

4.8.7	Améliorations envisagées.....	466
4.9	Autres procédés (CRF 2H).....	467
4.9.1	Caractéristiques de la catégorie	467
4.9.2	Méthode d'estimation des émissions	467
4.9.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	468
4.9.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	468
4.9.5	Recalculs.....	469
4.9.6	Améliorations envisagées.....	469
5	AGRICULTURE (CRF 3).....	470
5.1	Présentation générale du secteur	470
5.2	Fermentation entérique (3A).....	508
5.2.1	Caractéristiques de la catégorie	508
5.2.2	Méthode d'estimation des émissions	509
5.2.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	519
5.2.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	520
5.2.5	Recalculs.....	524
5.2.6	Suivi des recommandations des revues	525
5.2.7	Améliorations envisagées.....	526
5.3	Gestion des déjections (3B)	526
5.3.1	Caractéristiques de la catégorie	526
5.3.2	Méthode d'estimation des émissions	529
5.3.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	555
5.3.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	557
5.3.5	Recalculs.....	559
5.3.6	Suivi des recommandations des revues	560
5.3.7	Améliorations envisagées.....	561
5.4	Culture du riz (3C).....	562
5.4.1	Caractéristiques de la catégorie	562
5.4.2	Méthode d'estimation des émissions	562
5.4.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	564
5.4.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	565
5.4.5	Recalculs.....	565
5.4.6	Améliorations envisagées.....	565
5.5	Sols agricoles (3D)	566
5.5.1	Caractéristiques de la catégorie	566

5.5.2	Méthode d'estimation des émissions	574
5.5.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	584
5.5.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	584
5.5.5	Recalculs.....	585
5.5.6	Améliorations envisagées.....	585
5.6	Brûlage de résidus agricoles (3F)	586
5.6.1	Caractéristiques de la catégorie	586
5.6.2	Méthode d'estimation des émissions	586
5.6.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	587
5.6.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	587
5.6.5	Recalculs.....	587
5.6.6	Améliorations envisagées.....	588
5.7	Chaulage des terres (3G)	588
5.7.1	Caractéristiques de la catégorie	588
5.7.2	Méthode d'estimation des émissions	588
5.7.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	590
5.7.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	590
5.7.5	Recalculs.....	590
5.7.6	Améliorations envisagées.....	591
5.8	Épandage d'urée minérale (3H).....	591
5.8.1	Caractéristiques de la catégorie	591
5.8.2	Méthode d'estimation des émissions	591
5.8.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	592
5.8.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	592
5.8.5	Recalculs.....	592
5.8.6	Améliorations envisagées.....	592
5.9	Épandage d'engrais contenant du carbone (3I).....	593
5.9.1	Caractéristiques de la catégorie	593
5.9.2	Méthode d'estimation des émissions	593
5.9.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	594
5.9.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	594
5.9.5	Recalculs.....	594
5.9.6	Améliorations envisagées.....	594
6	UTCATF (CRF 4)	595
6.1	Présentation générale du secteur	595

6.2	Définitions des types de terres	598
6.2.1	Forêts	598
6.2.2	Cultures.....	599
6.2.3	Prairies.....	600
6.2.4	Zones humides	601
6.2.5	Zones urbanisées	601
6.2.6	Autres terres	601
6.2.7	Produits bois	601
6.2.8	Autres	602
6.3	Description des méthodes et données utilisées	602
6.3.1	Méthodes génériques	602
6.3.2	Suivi des recommandations des revues	622
6.3.3	Améliorations envisagées.....	627
6.3.4	Incertitudes	628
6.3.5	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	633
6.4	Forêts (CRF 4A).....	634
6.4.1	Caractéristiques de la catégorie	634
6.4.2	Méthode d'estimation des émissions	636
6.4.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries.....	661
6.4.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	661
6.4.5	Recalculs.....	665
6.4.6	Suivi des recommandations des revues	666
6.4.7	Améliorations envisagées.....	666
6.5	Cultures (CRF 4B)	669
6.5.1	Caractéristiques de la catégorie	669
6.5.2	Méthode d'estimation des émissions	671
6.5.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries.....	678
6.5.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	679
6.5.5	Recalculs.....	679
6.5.6	Suivi des recommandations des revues.....	680
6.5.7	Améliorations envisagées.....	681
6.6	Prairies (CRF 4C)	682
6.6.1	Caractéristiques de la catégorie	682
6.6.2	Méthode d'estimation des émissions	684
6.6.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries.....	690

6.6.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	690
6.6.5	Recalculs.....	691
6.6.6	Suivi des recommandations des revues.....	691
6.6.7	Améliorations envisagées.....	692
6.7	Zones humides (CRF 4D)	692
6.7.1	Caractéristiques de la catégorie	692
6.7.2	Méthode d'estimation des émissions	694
6.7.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	696
6.7.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	696
6.7.5	Recalculs.....	696
6.7.6	Suivi des recommandations des revues.....	697
6.7.7	Améliorations envisagées.....	697
6.8	Zones urbanisées (CRF 4E).....	698
6.8.1	Caractéristiques de la catégorie	698
6.8.2	Méthode d'estimation des émissions	699
6.8.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	700
6.8.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	701
6.8.5	Recalculs.....	701
6.8.6	Améliorations envisagées.....	701
6.9	Autres terres (CRF 4F).....	702
6.9.1	Caractéristiques de la catégorie	702
6.9.2	Méthode d'estimation des émissions	703
6.9.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	705
6.9.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	705
6.9.5	Recalculs.....	705
6.9.6	Suivi des recommandations des revues.....	705
6.9.7	Améliorations envisagées.....	706
6.10	Produits bois (CRF 4G)	706
6.10.1	Caractéristiques de la catégorie	706
6.10.2	Méthode d'estimation des émissions	707
6.10.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	712
6.10.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	712
6.10.5	Recalculs.....	713
6.10.6	Suivi des recommandations des revues.....	713
6.10.7	Améliorations envisagées.....	713

6.11	Autres (CRF 4H)	714
6.11.1	Caractéristiques de la catégorie	714
6.11.2	Méthode d'estimation des émissions	714
6.11.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	715
6.11.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	715
6.11.5	Recalculs.....	715
6.11.6	Améliorations envisagées.....	715
7	DECHETS (CRF 5)	716
7.1	Présentation générale du secteur	716
7.2	Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) (5A).....	721
7.2.1	Caractéristiques de la catégorie	721
7.2.2	Méthode d'estimation des émissions	724
7.2.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	731
7.2.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	732
7.2.5	Recalculs.....	732
7.2.6	Suivi des recommandations des revues	733
7.2.7	Améliorations envisagées.....	737
7.3	Traitement biologique (5B).....	737
7.3.1	Caractéristiques de la catégorie	737
7.3.2	Méthode d'estimation des émissions	738
7.3.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	741
7.3.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	741
7.3.5	Recalculs.....	741
7.3.6	Suivi des recommandations des revues.....	742
7.3.7	Améliorations envisagées.....	745
7.4	Incineration des déchets (5C)	745
7.4.1	Caractéristiques de la catégorie	747
7.4.2	Méthode d'estimation des émissions	749
7.4.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	755
7.4.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	755
7.4.5	Recalculs.....	756
7.4.6	Améliorations envisagées.....	756
7.5	Traitement des eaux (5D).....	757
7.5.1	Caractéristiques de la catégorie	757
7.5.2	Méthode d'estimation des émissions	759

7.5.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	766
7.5.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC)	766
7.5.5	Recalculs.....	766
7.5.6	Suivi des recommandations des revues.....	767
7.5.7	Améliorations envisagées.....	770
8	AUTRES	771
8.1	Caractéristiques de la catégorie.....	771
8.2	Méthode d'estimation des émissions.....	771
8.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	772
8.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC).....	772
8.5	Recalculs	772
8.6	Améliorations envisagées	772
9	EMISSIONS INDIRECTES DE CO ₂ ET N ₂ O	773
9.1	Caractéristiques de la catégorie.....	773
9.2	Méthode d'estimation des émissions.....	773
9.3	Incertitudes et cohérence temporelle des séries	773
9.4	Contrôle et assurance qualité (QA/QC).....	773
9.5	Recalculs	773
9.6	Améliorations envisagées	773
10	RECALCULS ET AMELIORATIONS	774
10.1	Explications et justifications concernant les nouveaux calculs	775
10.2	Incidences sur les niveaux d'émissions	776
10.3	Incidences sur l'évolution d'émissions.....	779
10.4	Améliorations transversales envisagées	780
11	UTCATF dans le cadre du Protocole de Kyoto (« KP-LULUCF »)	786
11.1	Informations générales.....	786
11.2	Information sur les terres.....	788
11.2.1	Unités spatiales utilisées pour le rapportage des surfaces relatives à l'article 3.3	788
11.2.2	Méthodologie utilisée pour la construction des matrices de transitions	788
11.2.3	Cartes et/ou base de données pour identifier les emplacements géographiques.....	789
11.3	Informations spécifiques aux activités.....	790
11.3.1	Méthodes de variation du stock de carbone et d'estimation des émissions et absorptions de GES	790
11.4	Article 3.3.....	794

11.4.1	Éléments démontrant que les activités relevant de l'article 3.3 ont débuté le ou après le 1 Janvier 1990 et avant le 31 Décembre 2012 et sont directement induites par l'homme.....	794
11.4.2	Information sur la distinction entre récolte, dégradation et déforestation .	794
11.4.3	Information sur la taille et l'emplacement géographique des terres forestières ayant perdu leur couverture arborée, mais qui ne sont pas encore classées comme défrichées	795
11.4.4	Information sur les provisions pour les perturbations naturelles.....	795
11.4.5	Information sur les Produits Ligneux Récoltés (PLR)	795
11.4.6	Analyse de la conformité au titre de l'article 3.3	795
11.5	Article 3.4.....	796
11.5.1	Éléments démontrant que les activités relevant de l'article 3.4 ont eu lieu depuis le 1 Janvier 1990 et sont d'origine humaine	796
11.5.2	Informations relatives à la gestion forestière (FM)	796
11.5.3	Informations pour l'année de base relative à la gestion des cultures, des prairies, à la restauration du couvert végétal et le drainage des zones humides et la réhumidification (si ces options ont été choisies)	801
11.5.4	Informations relatives aux produits ligneux récoltés.....	801
11.5.5	Analyse de la conformité au titre de l'article 3.4	802
11.6	Autres informations.....	803
11.6.1	Analyse en catégories clés des activités de l'article 3.3 et de toute activité choisie pour l'article 3.4	803
11.6.2	Analyse de la conformité au titre des articles 3.3 et 3.4.....	804
11.7	Information relative à l'article 6	804
11.8	Suivi des recommandations des revues	804
12	Information sur la comptabilisation des unités Kyoto.....	811
12.1	Informations de base	811
12.2	Résumé des informations contenues dans les tables SEF	812
12.3	Notifications et erreurs	813
12.4	Informations accessibles au public	813
12.5	Calcul de la réserve de la partie pour la période d'engagement (CPR).....	813
12.6	Comptabilisation du secteur UTCATF	814
13	Information sur les changements concernant le système national d'inventaire	815
13.1	Nom et coordonnées du responsable du système national d'inventaire désigné par la Partie	815
13.2	Répartition des rôles et des responsabilités au sein du système national d'inventaire	815
14	Information sur les changements concernant le registre national	817

15	Information sur la minimisation des effets adverses sur les pays en développement des politiques et mesures mises en œuvre par la France (article 3.14)	819
15.1	Description des externalités potentielles des politiques et mesures de la France	819
15.2	Ressources financières	824
15.3	Transfert de technologie	828
16	Déclarations relatives à d'autres informations pertinentes pour le changement climatique	835
Annexe 1	Catégories clés	843
Annexe 2	Méthodes et données pour l'estimation des émissions de CO ₂ provenant de la combustion de combustibles fossiles	854
Annexe 3	Descriptions méthodologiques détaillées.....	856
Annexe 4	Approche de référence Tier 1 du GIEC.....	883
Annexe 5	Impact par grands secteurs des modifications intervenues depuis la soumission de mars 2021	884
Annexe 6	Incertitudes	890
Annexe 7	Résultats pour la France (métropole et territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE) selon le périmètre et le format requis au titre du Protocole de Kyoto.....	897
Annexe 8	Résultats pour la France (métropole et territoires d'Outre-mer) selon le périmètre et le format au titre de la CCNUCC	901
Annexe 9	Prise en compte des revues de la CCNUCC	905
Annexe 10	Fichiers informatiques relatifs au texte.....	914
Références	.....	916

Table des figures

Figure 1 : Schéma organisationnel simplifié.....	50
Figure 2 : Dispositions mises en œuvre pour l'assurance qualité	55
Figure 3 : Schéma du contrôle et de l'assurance qualité de l'inventaire français.....	57
Figure 4 : Schéma opérationnel simplifié du système d'inventaire	65
Figure 5 : Choix des méthodologies	67
Figure 6 : Typologie des sources au regard de l'utilisation de l'énergie	75
Figure 7 : Carte de la France (Métropole et Outre-mer)	91
Figure 8 : Variations des émissions totales hors UTCATF au cours de la période 1990-2020 en France (Périmètre Kyoto).....	97
Figure 9 : Contribution des différents gaz à effet de serre aux émissions totales hors UTCATF en 1990 et 2020 pour la France (périmètre Kyoto).....	98
Figure 10 : Évolution des émissions hors UTCATF par habitant entre 1990 et 2020 (périmètre Kyoto)	100
Tableau 16 et Figure 11 : coefficient de rigueur (Métropole)	104
Figure 12 : Variations des émissions de gaz à effet de serre direct hors UTCATF au cours de la période	108
Figure 13 : Consommation d'énergie primaire en France métropolitaine (non corrigée du climat)	127
Figure 14 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer (non corrigée du climat)	128
Figure 15 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer au périmètre Kyoto (non corrigée du climat)	130
Figure 16 : Répartition du trafic domestique et international pour la Métropole	142
Figure 17 : Consommations de combustibles de la catégorie 1A1a (périmètre Kyoto).....	157
Figure 18 : Distribution des combustibles pour la production d'électricité thermique (périmètre Kyoto)	158
Figure 19 : Évolution du des combustibles utilisés par les installations de chauffage urbain (périmètre Kyoto).....	160
Figure 20 : Brut traité dans les raffineries en France métropolitaine et Martinique (Périmètre Kyoto)	161
Figure 21 : Combustibles consommés pour le raffinage du pétrole (périmètre Kyoto)	162
Figure 22 : Production de coke en France (périmètre Kyoto)	163
Figure 23 : Composition des déchets incinérés en UIDND (yc déchets industriels, hors boues) en Métropole	166
Figure 24 : Évolution de la consommation d'énergie par sous-catégorie de l'industrie manufacturière (périmètre Kyoto) (non corrigée du climat).....	175
Figure 25 : Evolution de la consommation d'énergie par combustible dans l'industrie manufacturière en France - (périmètre Kyoto) (non corrigée du climat)	175
Figure 26 : Détail des combustibles « solides » et « liquides » consommés dans l'industrie manufacturière en France - Périmètre Kyoto	176
Figure 27 : Production de produits en fonte (périmètre Kyoto)	178
Figure 28 : Les procédés de fabrication de l'acier	179
Figure 29 : Logigramme du processus d'estimation des consommations d'énergie en France métropolitaine.....	192
Figure 30 : Répartition des flux de combustibles et matières des installations sidérurgiques et des émissions de CO ₂ associées	197
Figure 31 : Consommation des différents modes de transports sur la période 1990 - 2020 et répartition en 2020 (y compris agro-carburants) (Périmètre Kyoto)	212
Figure 32 : Emissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile domestique (périmètre Kyoto) ..	216
Figure 33 : Emissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile internationale (périmètre Kyoto)	216

Figure 34 : Consommations de carburants de l'aviation civile touchant la Métropole et l'Outre-mer	217
Figure 35 : Trafic domestique en milliers de passagers	217
Figure 36 : Trafic international en milliers de passagers.....	218
Figure 37 : Prix des carburants à la pompe (Métropole)	219
Figure 38 : Vitesses moyennes par réseaux tous véhicules (Métropole).....	219
Figure 39 : Emissions de gaz à effet de serre du transport routier en France métropolitaine et en Outre-mer (périmètre Kyoto)	220
Figure 40 : Consommations des différents carburants du transport routier sur la période 1990 - 2020 et répartition en 1990 et 2020 (y compris agro-carburants) (Périmètre Kyoto)	220
Figure 41 : Taux de diésélisation du parc des véhicules particuliers en France	221
Figure 42 : Taux d'incorporation d'agro-carburants en France métropolitaine.....	221
Figure 43 : Consommations des différents combustibles en France métropolitaine et en Outre-mer. Répartition des consommations pour l'Outre-mer entre les DOM (périmètre Kyoto) et les autres territoires (COM)	222
Figure 44 : Consommations d'énergies (y compris agro-carburants) du transport ferroviaire en France métropolitaine.....	224
Figure 45 : Emissions de gaz à effet de serre du transport ferroviaire en France métropolitaine ..	224
Figure 46 : Trafics ferroviaires de passagers (en Milliard de voyageursxkilomètres) et de marchandises (en Milliard de tonnesxkilomètres)	224
Figure 47 : Emissions de gaz à effet de serre du transport maritime domestique (périmètre Kyoto)	228
Figure 48 : Emissions de gaz à effet de serre du transport maritime international (hors total).....	229
Figure 49 : Consommations d'énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime domestique et international.....	229
Figure 50 : Consommations des différentes énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime domestique (1.A.3.d.)	230
Figure 51 : Répartition des tonnesxkilomètres du transport fluvial de marchandises entre la partie domestique et internationale	230
Figure 52 : Consommations d'énergies (gaz naturel) en France métropolitaine et en Outre-mer ..	231
Figure 53 : Emissions de gaz à effet de serre émises par les stations de compression (périmètre Kyoto)	231
Figure 54 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du secteur aérien.....	233
Figure 55 : Evolutions des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre du transport aérien domestique (périmètre Kyoto).....	233
Figure 56 : Evolutions des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre du transport aérien international (hors total)	234
Figure 57 : Parc statique (Nombre) des véhicules routiers en Métropole	239
Figure 58 : Kilométrage moyen des véhicules routiers en Métropole.....	241
Figure 59 : Parc roulant (Md véhiculesxkilomètre) des véhicules routiers en Métropole	242
Figure 60 : Parc roulant (Md véhiculesxkilomètre) des véhicules routiers en Outre-mer (y compris PTOM).....	243
Figure 61 : Différence relative du calcul par le modèle COPERT vis-à-vis de la statistique des consommations d'essence et de gazole pour le transport routier de 1990 à 2020	244
Figure 62 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre Kyoto) du transport routier	246
Figure 63 : Logigramme du processus d'estimation des émissions.	247
Figure 64 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre Kyoto) du transport ferroviaire ..	248
Figure 65 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du transport maritime	248
Figure 66 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du transport par voie navigable ..	250
Figure 67 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre Kyoto) du transport maritime domestique	251
Figure 68 : Evolution des facteurs d'émission de GES du transport maritime international	251

Figure 69 : Logigramme du processus d'estimation des émissions.	252
Figure 70 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre Kyoto) des stations de compression	252
Figure 71 : Comparaison entre les consommations théoriques du modèle et les ventes totales françaises de carburants	253
Figure 72 : Comparaison entre les consommations de carburants du routier sur le territoire et les ventes/livraisons à usage routier (en métropole)	254
Figure 73 : Consommation de combustibles dans les différents sous-secteurs (Périmètre Kyoto) ..	257
Figure 74 : Répartition des combustibles dans les sous-secteurs en 2020 (Périmètre Kyoto)	258
Figure 75 : Extraction de pétrole (périmètre Kyoto).....	277
Figure 76 : Extraction de gaz naturel (périmètre Kyoto).....	278
Figure 77 : Longueur de réseau du gaz naturel en France (périmètre Kyoto)	279
Figure 78 : Productions des principaux produits minéraux en France (périmètre Kyoto) depuis 1990	294
Figure 79 : Principales productions de l'industrie chimique	319
Figure 80 : Production de fonte brute en France (périmètre Kyoto)	343
Figure 81 : Production d'acier en France - périmètre Kyoto	344
Figure 82 : Production de ferroalliages en France (périmètre Kyoto)	345
Figure 83 : Production d'aluminium par électrolyse en France (périmètre Kyoto).....	346
Figure 84 : Répartition des flux de combustibles et matières des installations sidérurgiques et des émissions de CO ₂ associées	348
Figure 85 : Répartition sectorielle des émissions CO ₂ équivalentes de gaz fluorés en 2020 (France métropolitaine).....	375
Figure 86 : Répartition sectorielle des émissions CO ₂ équivalentes de gaz fluorés en 2020 hors secteur climatisation/réfrigération (France métropolitaine)	376
Figure 87 : Evolution des émissions de gaz fluorés de 1990 à 2020	376
Figure 88 : Distribution des émissions de HFC en CO ₂ e du CRF 2F1 en 2020 (périmètre Kyoto)	378
Figure 89 : Contribution des secteurs aux émissions de HFC en CO ₂ e de la catégorie CRF 2F1 en 2020 (périmètre Kyoto).....	378
Figure 90 : Évolution du besoin en HFC pour la production et la charge des équipements neufs ...	379
Figure 91 : Évolution des quantités de gaz contenus dans les équipements en fonctionnement (périmètre Kyoto).....	380
Figure 92 : Comparaison du marché calculé et du marché déclaré de R-410A en France métropole	394
Figure 93 : Comparaison du marché calculé et du marché déclaré de R-407C en France métropole	394
Figure 94 : Evolution des fluides frigorigènes utilisés sur le marché des réfrigérateurs domestiques	397
Figure 95 - Courbe de fin de vie climatisation automobile	400
Figure 96 : Evolution du taux de climatisation automobile en France métropole (en %)	401
Figure 97 : Charge moyenne de réfrigérant par véhicule (VP & VUL)	402
Figure 98 : Facteur d'émission au cours de la durée de vie des véhicules (en %)	406
Figure 99 - Répartition des surfaces d'entrepôts frigorifiques en France - Insee 2012	415
Figure 100 - Ratio de charge équivalent - Exemple de l'industrie laitière	416
Figure 101 : Facteur d'émission à la charge (en %)	430
Figure 102 : Facteur d'émission pendant la durée de vie - climatisation fixe (en %)	431
Figure 103 : Facteur d'émission pendant la durée de vie - chillers (en %)	431
Figure 104 : Facteur d'émission pendant la durée de vie - pompe à chaleur (en %)	432
Figure 105 : Efficacité de récupération (en %).....	434
Figure 106 - Ratios de charge surfacique en super et hypermarchés	437
Figure 107 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés en hypermarchés.....	438
Figure 108 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés en supermarchés	439
Figure 109 : facteur d'émission à l'usage en froid commercial (en %)	441

Figure 110 : Efficacité de récupération en froid commercial (en %)	442
Figure 111: Postes d'émission et polluants associés en agriculture	471
Figure 112: Evolution des émissions de CH ₄ (kt) du secteur agricole - Périmètre Kyoto	472
Figure 113 : Evolution des émissions de N ₂ O (kt) du secteur agricole - Périmètre Kyoto.....	472
Figure 114 : Récapitulatif des méthodes d'ajustement de la statistique agricole annuelle (SAA) ..	474
Figure 115 : Evolution des cheptels bovins au périmètre Kyoto.....	480
Figure 116 : Evolution des cheptels porcins au périmètre Kyoto.....	481
Figure 117 : Evolution des cheptels ovins et caprins au périmètre Kyoto.....	482
Figure 118 : Evolution des cheptels équins au périmètre Kyoto.....	483
Figure 119 : Evolution des cheptels poules et poulets au périmètre Kyoto.....	483
Figure 120 : Evolution des cheptels autres volailles et lapines au périmètre Kyoto	484
Figure 121 : Répartition entre types d'effluents pour les bovins (périmètre Kyoto)	486
Figure 122 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre Kyoto) ...	487
Figure 123 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre Kyoto).....	488
Figure 124 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre Kyoto)	489
Figure 125 : Evolution du nombre de sites de méthanisation en France	490
Figure 126 : Quantité d'effluents méthanisés et taille moyenne des méthaniseurs par région en 2020 - après extrapolation (tonnes)	492
Figure 127 : Evolution des places méthanisées en bovins	493
Figure 128 : Evolution des places méthanisées en porcins	494
Figure 129 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre Kyoto).....	495
Figure 130 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre Kyoto).....	496
Figure 131 : Évolution des surfaces de culture en France (Métropole uniquement).....	505
Figure 132 : Évolution des productions en France (<i>Métropole uniquement</i>)	506
Figure 133 : Évolution des surfaces de culture dans les DOM.....	506
Figure 134 : Répartition des surfaces en hectares dans les COM en 2020.....	507
Figure 135 : Evolution et répartition des émissions de CH ₄ (kt) de la fermentation entérique par catégorie animale (Périmètre Kyoto)	508
Figure 136 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de CH ₄ de la fermentation entérique par tête par an par catégorie animale	509
Figure 137 : tMS/UGB/an par grand système (CIV, 2012)	512
Figure 138 : Schéma comparatif de la méthode de la méthode MONDFERENT I (vert) avec la méthode Giec 2006 (rouge)	514
Figure 139 : Schéma récapitulatif de l'évaluation du CH ₄ entérique par la méthode MONDFERENT II	516
Figure 140 : Evolution et répartition des émissions de CH ₄ (kt) de la gestion des déjections par catégorie animale (Périmètre Kyoto)	527
Figure 141 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de CH ₄ de la gestion des déjections par tête par an par catégorie animale	527
Figure 142 : Evolution et répartition des émissions de N ₂ O (kt) de la gestion des déjections par catégorie animale (Périmètre Kyoto)	528
Figure 143 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de N ₂ O de la gestion des déjections par tête par an et par catégorie animale.....	529
Figure 144 : Températures moyennes annuelles régionales	535
Figure 145 : 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	540
Figure 146 : Suivi de l'azote en gestion liquide	546

Figure 147 : Suivi de l'azote en gestion solide	546
Figure 148 : Suivi de l'azote en gestion liquide avec méthanisation	547
Figure 149: Suivi de l'azote en gestion solide avec méthanisation.....	547
Figure 150 : Évolution et répartition des émissions de N ₂ O (kt) des sols agricoles (Périmètre Kyoto)	566
Figure 151 : Moyenne lissée sur trois ans des quantités d'azote livrées issues des engrais minéraux épandus en Métropole (Mt N).....	568
Figure 152 : Quantités d'azote issues des engrais minéraux épandues en Outre-mer (tN).....	569
Figure 153 : Schéma de la méthodologie d'estimation des émissions pour le N ₂ O des sols	580
Figure 154 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF pour la métropole et l'Outre-mer (UE)	596
Figure 155 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF par catégorie CRF.....	596
Figure 156 : Approche pour les 35 régions françaises (sur environ 50 années).....	603
Figure 157 : Représentation schématique de l'échantillonnage TERUTI	604
Figure 158 : Représentation des 3 strates d'échantillonnage pour le suivi des terres en Guyane français	609
Figure 159 : Cartographie des zones pédologiques (basée sur la texture des sols) [719]	618
Figure 160 : Cartographie des zones climatiques [722].....	619
Figure 161 : Cartographie des zones pédoclimatiques.....	621
Figure 162 : Incertitudes sur la biomasse forestière : exemples sur les années 2012-2015	632
Figure 163 : Surfaces et Emissions / Absorptions en forêt	635
Figure 164 : Schéma récapitulatif des flux et stocks de carbone pour la forêt	638
Figure 165 : Carte des interrégions IGN.....	639
Figure 166 : Représentation schématique de la méthode (dite « modèle ») d'estimation des émissions liées aux récoltes de bois)	650
Figure 167 : Conversion de volumes de bois commercialisés en carbone	651
Figure 168 : Représentation de l'ajustement sur la base des données de prélèvement direct issues de l'IFN (en tC aérien et racinaire)	652
Figure 169 : Représentation de l'évolution des stocks de carbone suite à une tempête	654
Figure 170 : Surfaces et Emissions / Absorptions en cultures	670
Figure 171 : Surfaces et Emissions / Absorptions en prairies	683
Figure 172 : Surfaces et Emissions / Absorptions en zones humides.....	693
Figure 173 : Surfaces et Emissions / Absorptions en zones urbanisées.....	698
Figure 174 : Surfaces et Emissions / Absorptions en autres terres.....	702
Figure 175 : Flux considérés dans la formulation concernant le compartiment "sciages"	708
Figure 176 : Vision d'ensemble des flux utilisés dans la méthode.....	712
Figure 177 : Emissions de CH ₄ et de CO ₂ dues au barrage de Petit-Saut en Guyane.....	714
Figure 178 : Bilan des tonnages entrant dans les ITOM en 2018 (source : ITOM 2018, ADEME)	718
Figure 179 : Evolution des quantités de DMA* traitées par filière de traitement en kt - périmètre Kyoto	720
Figure 180 : Evolution des quantités de déchets non dangereux stockés en ISDND en kt en France (périmètre Kyoto).....	722
Figure 181 : Composition des ordures ménagères en 2017	727
Figure 182 : Evolution des quantités de déchets incinérés et brûlés selon leur type (en kt) - (Périmètre Kyoto).....	746
Figure 183 : Composition des déchets incinérés en UIDND (yc déchets industriels, hors boues) en Métropole	750
Figure 184 : Pollution traitée par système en Métropole	758
Figure 185 : Résolution géographique pour l'estimation des résultats pour le Protocole de Kyoto .	789
Figure 186 : Représentation de l'évolution du stock de carbone des sols forestiers (1990-2010) ...	791
Figure 187 : flux considérés dans la formulation concernant le compartiment "sciages".	800
Figure 188 : vision d'ensemble des flux utilisés dans la méthode	801

Figure 189 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les bovins	867
Figure 190 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les porcins	868
Figure 191 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les ovins.....	868
Figure 192 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les caprins	869
Figure 193 : Illustration fictive du retraitement des données effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage.....	870

Table des tableaux

Tableau 1 : Résumé des émissions de gaz à effet de serre en France (périmètre Kyoto)	36
Tableau 2 : Relation entre les bonnes pratiques du GIEC et les éléments du SMQ	59
Tableau 3 : Principaux formats de rapportage produits par le SNIEBA	64
Tableau 4 : Présentation des différents référentiels utilisés	66
Tableau 5 : Données collectées et leurs sources	68
Tableau 6 : Résumé des méthodologies de calculs et des facteurs d'émission employés par secteur	76
Tableau 7 : Résumé des méthodologies de calculs et des facteurs d'émission employés par secteur (suite).....	77
Tableau 8 : Résumé des sources clés en 1990 avec et hors UTCATF.....	84
Tableau 9 : Résumé des sources clés en 2020 avec et hors UTCATF.....	85
Tableau 10 : Couverture géographique de la France au regard des divers inventaires d'émissions ..	89
Tableau 11 : Paramètres socio-économiques de la France.....	90
Tableau 12 : Liste des sources couvertes par la notation « NE » en 2020	93
Tableau 13 : Liste des sources couvertes par la notation « IE » en 2020	94
Tableau 14 : Émissions de gaz à effet de serre en France (Périmètre Kyoto).....	99
Tableau 15 : Émissions des gaz à effet de serre en France (France entière).....	102
Tableau 16 et Figure 11 : coefficient de rigueur (Métropole)	104
Tableau 17 : Émissions détaillées des HFC et PFC en France (Périmètre Kyoto)	109
Tableau 18 : Contribution des catégories GIEC aux émissions de gaz à effet de serre hors UTCATF en France en 2020 (Périmètre Kyoto).....	110
Tableau 19 : Émissions de CO ₂ en France par catégorie CRF (Périmètre Kyoto).....	111
Tableau 20 : Émissions de CH ₄ en France par catégorie CRF	112
Tableau 21 : Émissions de N ₂ O en France par catégorie CRF	113
Tableau 22 : Émissions de HFC en France par catégorie CRF	114
Tableau 23 : Émissions de PFC en France par catégorie CRF	114
Tableau 24 : Émissions de SF ₆ en France par catégorie CRF	115
Tableau 25 : Émissions de NF ₃ en France par catégorie CRF.....	115
Tableau 26 : Émissions de SO ₂ en France par catégorie CRF.....	116
Tableau 27 : Émissions de NO _x en France par catégorie CRF	117
Tableau 28 : Émissions de COVNM en France par catégorie CRF	118
Tableau 29 : Émissions de CO en France par catégorie CRF	119
Tableau 30 : Contribution du trafic intra et hors Union européenne aux émissions de CO ₂ du trafic international aérien relatif à la France	124
Tableau 31 : Correspondance des secteurs bilan de l'énergie français / CRF.....	126
Tableau 32 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer (non corrigée du climat)	129
Tableau 33 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer au périmètre Kyoto (non corrigée du climat)	131
Tableau 34 : Émissions de gaz à effet de serre de l'ENERGIE	132
Tableau 35 : Comparaison des émissions de CO ₂ de l'approche de référence et de l'approche sectorielle - périmètre Kyoto	133
Tableau 36 : 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.....	135
Tableau 37: 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	136

Tableau 38 : 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 dus aux pertes de distribution	137
Tableau 39 : Comparaison des consommations et émissions des autres combustibles fossiles entre les approches de référence et sectorielle	138
Tableau 40 : Equivalence des unités d'énergie courantes	146
Tableau 41 : Détail des PCI utilisés dans les inventaires nationaux	146
Tableau 42 : facteurs d'émission utilisés dans les inventaires d'émission nationaux	151
Tableau 43 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1a est source clé en 2020 (hors UCTATF)	156
Tableau 44 : Production brute d'électricité en Métropole (y compris autoproduction)	158
Tableau 45 : Production du chauffage urbain en Métropole	159
Tableau 46 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1c est source clé en 2020 (hors UCTATF)	160
Tableau 47 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1c est source clé en 2020 (hors UCTATF)	162
Tableau 48 : Substances pour lesquelles le secteur 1A2 est source clé en 2020 (hors UCTATF)	173
Tableau 49 : Consommation d'énergie finale dans les sous-secteurs de l'industrie manufacturière par type de combustible en 1990 et 2020 - périmètre Kyoto.....	174
Tableau 50 : Sous-secteurs du système d'inventaire	191
Tableau 51 : Facteurs d'émission du CH ₄ par gamme et par norme d'engin	194
Tableau 52 : Substances pour lesquelles le secteur 1.A.3 est source clé en 2020 (hors UCTATF*, périmètre Kyoto)	212
Tableau 53 : Comparaison des consommations de l'année 2020 pour le transport routier issues des statistiques et du modèle COPERT.....	244
Tableau 54 : Substances et combustibles pour lesquelles le secteur 1A4 est source clé en 2020 (hors UCTATF)	259
Tableau 55 : Facteurs d'émission du CH ₄ par gamme et par norme d'engin diesel	264
Tableau 56 : Substances pour lesquelles le secteur 1A5 est source clé en 2020 (hors UCTATF)	269
Tableau 57 : Substances pour lesquelles le secteur 1B est source clé en 2020 (hors UCTATF)	273
Tableau 58 : Émissions de gaz à effet de serre des PROCÉDES INDUSTRIELS (périmètre Kyoto).....	293
Tableau 59 : Substances pour lesquelles le secteur 2A est source clé en 2020 (hors UCTATF)	295
Tableau 60 : production de clinker aluminaté (uniquement en France métropolitaine) en kt	302
Tableau 61 : Production des autres types de clinker (uniquement en France métropolitaine) (kt).	303
Tableau 62 : Méthodes mises en œuvre pour le calcul des émissions de CO ₂ du secteur de la production de ciment	304
Tableau 63 : Part des différentes sources d'émission dans le facteur d'émission induit du CO ₂ pour la décarbonation dans le secteur du ciment.....	305
Tableau 64 : Nombre d'installations produisant de la chaux (hydraulique et autre) et nature des données utilisées.....	309
Tableau 65 : Substances pour lesquelles le secteur 2B est source clé en 2020 (hors UCTATF)	320
Tableau 66 : Substances pour lesquelles les secteurs du 2C sont sources clé en 2020 (hors UCTATF)	341
Tableau 67 : Substances pour lesquelles le secteur 2D est source clé (hors UCTATF)	362
Tableau 68 : Substances pour lesquelles le secteur 2F1 est source clé en 2020 (hors UCTATF)	377
Tableau 69 : Composition et PRG (4 ^{ème} AR) des principaux fluides frigorigènes commerciaux	379
Tableau 70 : Substances pour lesquelles le secteur 2F4 est source clé en 2020 (hors UCTATF)	382
Tableau 71 : Répartition des réfrigérants mis sur le marché par sous-application en 2020.....	443
Tableau 72 : Facteur d'émission à la charge par sous-application sur 3 années.....	445
Tableau 73 : Facteur d'émission durée de vie par sous-application sur 3 années	446
Tableau 74 : Facteur d'émission fin de vie par sous-application sur 3 années.....	447
Tableau 75 : Sources des facteurs d'émission par sous-application des mousses.....	449

Tableau 76 : Sources et données d'activités par sous-application des mousses	449
Tableau 77 : Émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture	471
Tableau 78: Substances pour lesquelles le secteur CRF 3 est source clé en 2020 (hors UCTATF) ...	473
Tableau 79 : Correspondances entre anciennes et nouvelles régions	473
Tableau 80 : Correspondances entre les catégories SAA et les catégories de l'inventaire pour les porcs	476
Tableau 81 : Evolution du cheptel porcin détaillée par catégories fines (Métropole uniquement) .	476
Tableau 82 : Catégories et sous-catégories de l'inventaire	477
Tableau 83 : Cheptels bovins, porcins, ovins et caprins au périmètre Kyoto sur la période 1990-2020	478
Tableau 84 : Cheptels équins, volailles et lapines au périmètre Kyoto sur la période 1990-2020...	479
Tableau 85 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins (périmètre Kyoto) ...	485
Tableau 86 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre Kyoto) ..	486
Tableau 87 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre Kyoto).....	487
Tableau 88 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre Kyoto)	488
Tableau 89 : Données ADEME sur la méthanisation (2013)	490
Tableau 90 : Sources de données régionales mobilisées et année de l'état des lieux des unités de méthanisation	491
Tableau 91 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre Kyoto).....	495
Tableau 92 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre Kyoto).....	495
Tableau 93 : Récapitulatif des sources utilisées pour le calcul des facteurs d'excrétion azotée	503
Tableau 94 : Evolution des Fex en métropole par catégorie animale détaillée.....	504
Tableau 95 : Evolution des Fex au périmètre Kyoto par catégorie animale agrégée.....	505
Tableau 96 : Récapitulatif des méthodes d'estimation du CH ₄ entérique.....	510
Tableau 97 : Poids vif moyen par catégorie bovine fine.....	511
Tableau 98 : Caractéristiques retenues par grande catégorie d'aliment	512
Tableau 99 : Evolution du rendement laitier (<i>Métropole uniquement</i>)	514
Tableau 100 : Récapitulatif des facteurs d'émission CH ₄ entérique et paramètres associés	519
Tableau 101 : Paramètres et sources associées pour le calcul du CH ₄ entérique des bovins.....	521
Tableau 102 : Paramètres et sources associées pour le calcul du CH ₄ entérique des ovins et caprins	522
Tableau 103 : Comparaison des FE CH ₄ entérique - MONDFERENT I et II / Giec 2006.....	522
Tableau 104 : Comparaison des EB - MONDFERENT I et II / Giec 2006	523
Tableau 105 : Comparaison des Ym - MONDFERENT I et II / Giec 2006	523
Tableau 106 : Comparaison des FE nationaux aux FE Tiers 1 du Giec 2006.....	524
Tableau 107 : Attributions et retraitements des valeurs SV proposées par le GIEC 2006 pour les sous-catégories volailles	533
Tableau 108 : Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV	534
Tableau 109 : Paramètres Bo utilisés dans l'inventaire	534
Tableau 110 : Correspondances MCF et systèmes de gestion	535
Tableau 111 : Correspondances facteurs d'émission et systèmes de gestion	537
Tableau 112 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion	538
Tableau 113 : Pourcentages recalculés des effectifs porcins élevés en bâtiment avec traitement de l'air par grande région productrice et solde national	540
Tableau 114 : Attribution des taux d'application de traitement de l'air sur la période.....	541
Tableau 115 : Résumé des modes d'estimation du nombre de stations de traitement par nitrification-dénitrification sur la période.....	541

Tableau 116 : Résumé des modes d'estimation de l'azote résorbé par nitrification-dénitrification sur la période	542
Tableau 117 : Pourcentages des lisiers stockés en fosse couverte pour les porcins, caprins et ovins, par grande région productrice et solde national	543
Tableau 118 : Attribution des taux d'application de la couverture de fosse sur la période	543
Tableau 119 : Combinaisons des pratiques tirées des enquêtes Pratiques Culturelles 2011 et 2017	544
Tableau 120 : Attribution des taux d'application des différents modes d'épandage sur la période	544
Tableau 121 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion	545
Tableau 122 : Tableau récapitulatif des proportions de TAN utilisées par catégorie animale	548
Tableau 123 : Facteurs d'émission de N-NH ₃ au bâtiment	549
Tableau 124 : Facteurs d'émission de N-NH ₃ au stockage	551
Tableau 125 : Facteurs d'ajustement liés aux pratiques d'épandage	554
Tableau 126 : Facteurs d'émission de N-NH ₃ à l'épandage	554
Tableau 127 : Facteurs d'émission de N-NH ₃ à la pâture	555
Tableau 128 : Comparaison des VS - MONDFERENT I et II / Giec 2006	557
Tableau 129 : Comparaison des Fex - MONDFERENT I et II / Giec 2006	559
Tableau 130. Récapitulatif des paramètres utilisés pour le calcul des facteurs d'émission du riz..	563
Tableau 131 : Surfaces de riziculture pour la métropole, la Guyane et Mayotte	564
Tableau 132. Fertilisation azotée par culture	569
Tableau 133 : Récapitulatif du devenir de l'azote pour estimer les quantités épandues (Périmètre Kyoto).....	570
Tableau 134 : Ration moyenne d'un méthaniseur centralisé et à la ferme [1058].....	573
Tableau 135 : Principales teneurs en azote des intrants méthanisés.....	573
Tableau 136. Facteurs d'émission des histosols cultivés - kg N-N ₂ O/(ha-yr) - source : IPCC (2013)	575
Tableau 137 : Fractions de l'azote épandu qui se volatilise sous forme de NH ₃ et de NO _x , utilisées dans le calcul des émissions de N ₂ O des sols	577
Tableau 138: Azote apportés aux sols cultivés par source en Métropole (tonnes d'azote).....	578
Tableau 139: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE (tonnes d'azote).....	579
Tableau 140: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d'Outre-mer non inclus dans l'UE (tonnes d'azote).....	579
Tableau 141 : Facteurs d'émission de NH ₃ pour les engrais minéraux	582
Tableau 142 : Répartition des amendements carbonés.....	589
Tableau 143 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF pour la métropole et l'Outre-mer (UE)	597
Tableau 144 : Catégories du secteur UTCATF estimées dans l'inventaire français	597
Tableau 145 : Substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en niveau (2020).....	598
Tableau 146 : Substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en tendance (1990-2020)	598
Tableau 147 : Sources d'information utilisée pour le suivi des terres en fonction de la région	603
Tableau 148 : Source ou méthode utilisée pour le suivi des terres en Métropole en fonction de la période	605
Tableau 149 : Extrait de la correspondance entre les codes TERUTI et la nomenclature GIEC.....	606
Tableau 150 : Les 16 sous-catégories d'utilisation des terres	606
Tableau 151 : Illustration du protocole d'estimation des surfaces à partir des surfaces de l'année 2007	608
Tableau 152 : Représentativité d'un point d'enquête dans chaque strate [673]	609
Tableau 153 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Guyane (ha)	611
Tableau 154 : Matrice 2008-2012 produite par les travaux de photo-interprétation en Guyane (ha)	611

Tableau 155 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Guadeloupe (ha)	611
Tableau 156 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation en Martinique (ha)	611
Tableau 157 : Matrice 1989-2008 produite par les travaux de photo-interprétation pour La Réunion (ha)	611
Tableau 158 : Matrice 1989-2009 produite en combinant plusieurs sources d'information pour Mayotte (ha)	611
Tableau 159 : Matrice 1989-2009 produite sur la base de données ESA CCI-LC pour Saint Martin (ha)	612
Tableau 160 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne des terres forestières	615
Tableau 161 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne hors forêt (Métropole)	615
Tableau 162 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne hors forêt (Outre-Mer)	616
Tableau 163 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante racinaire des terres forestières	616
Tableau 164 : Stocks de carbone (tC/ha) dans le bois mort des terres forestières	617
Tableau 165 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la litière des terres forestières	617
Tableau 166 : Stocks de carbone de référence pour les sols (sols forestiers)	619
Tableau 167 : Stocks de carbone moyens selon les caractéristiques des zones pédoclimatiques en France métropolitaine (tC/ha)	621
Tableau 168 : Paramètres de calcul pour les sols organiques (histosols) drainés	622
Tableau 169 : Moyenne des F_{UT} régionaux utilisés (Minimum et Maximum entre parenthèses)	622
Tableau 170 : Incertitudes en UTCATF	633
Tableau 171 : Surfaces en forêt (en milliers d'ha)	635
Tableau 172 : Emissions / Absorptions en forêt (en ktCO ₂ e)	636
Tableau 173 : Production brute annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN (exemple pour l'année 2007)	641
Tableau 174 : Mortalité annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN (exemple pour l'année 2007)	642
Tableau 175 : Paramètres et bilan pour la biomasse forestière totale en métropole (ktC/an)	643
Tableau 176 : Récoltes de bois matériau et de bois énergie en Métropole depuis 1990	649
Tableau 177 : Facteurs d'expansion utilisés pour les prélèvements de bois matériau	650
Tableau 178 : Infradensité utilisées pour les principales essences [598]	651
Tableau 179 : Données forestières pour les départements d'Outre-mer	652
Tableau 180 : Surfaces incendiées en France depuis 1990	655
Tableau 181 : Stocks de biomasse et facteur d'efficacité de la combustion	656
Tableau 182 : Surface de forêt par DOM (ha)	662
Tableau 183 : Paramètres d'accroissement de la biomasse forestière	662
Tableau 184 : Résultats intermédiaires pour l'accroissement en Outre-Mer	663
Tableau 185 : Résultats intermédiaires pour les prélèvements en Outre-Mer	664
Tableau 186 : Bilan d'émission des forêts des DOM (tCO ₂)	664
Tableau 187 : Surfaces en cultures (en milliers d'ha)	670
Tableau 188 : Emissions / Absorptions en cultures (en ktCO ₂ e)	671
Tableau 189 : Flux de CO ₂ liés aux changements entre catégories de cultures (cultures annuelles et pérennes), biomasse aérienne et racinaire, en métropole	673
Tableau 190 : Flux de CO ₂ liés pour les cultures (cultures annuelles et pérennes), biomasse aérienne et racinaire, en métropole et en outre-mer	673
Tableau 191 : Répartition des surfaces de culture selon le travail du sol	675
Tableau 192 : Valeurs par défaut du GIEC associées au travail du sol	675
Tableau 193 : Protocole d'allocation entre les catégories GIEC	676
Tableau 194 : Répartition des surfaces de culture selon le niveau d'apport	676

Tableau 195 : Valeurs par défaut du GIEC associées aux apports	677
Tableau 196 : Stocks de référence pour la biomasse (aérienne et racinaire) des sous-catégories de Cultures	677
Tableau 197 : Surfaces en prairies (en milliers d'ha)	683
Tableau 198 : Emissions / Absorptions en prairies (en kt CO ₂ e).....	684
Tableau 199 : Flux de CO ₂ liés aux changements entre catégories de prairies, biomasse aérienne et racinaire, en métropole	686
Tableau 200 : Flux de CO ₂ liés pour les prairies, biomasse aérienne et racinaire, métropole et Outre-mer	686
Tableau 201 : Protocole d'allocation entre les catégories GIEC	688
Tableau 202 : Répartition des surfaces de prairie par catégorie GIEC	688
Tableau 203 : Valeurs par défaut du GIEC associées aux types de prairie	688
Tableau 204 : Stocks de référence pour la biomasse (aérienne et racinaire) des sous-catégories de Prairies	689
Tableau 205 : Surfaces en zones humides (en milliers d'ha)	693
Tableau 206 : Emissions / Absorptions en zones humides (en ktCO ₂ e)	694
Tableau 207 : Surfaces en zones urbanisées (en milliers d'ha).....	698
Tableau 208 : Emissions / Absorptions en zones urbanisées (en ktCO ₂ e)	699
Tableau 209 : Surfaces en autres terres (en milliers d'ha)	702
Tableau 210 : Emissions /absorptions pour les produits bois (ktCO ₂ e)	707
Tableau 211 : Principales sources de données pour les Produits Ligneux Récoltés.....	708
Tableau 212 : Durées de demi-vie des produits bois.....	709
Tableau 213 : Production de produits bois issus des prélèvements intérieurs	710
Tableau 214 : Fin de vie des produits bois issus des prélèvements intérieurs	711
Tableau 215 : Production de déchets en France métropolitaine 2016 - 2018 (source : SDES)	716
Tableau 216 : Traitement de déchets en France métropolitaine 2016 - 2018 (source : SDES).....	716
Tableau 217 : Production de déchets en France (périmètre Kyoto) en 2017 (Source : ADEME)	717
Tableau 218 : Émissions de gaz à effet de serre des DECHETS (CRF 5).....	721
Tableau 219 : Substances pour lesquelles le secteur 5A est source clé en 2020 (hors UCTATF)	721
Tableau 220 : Composition des ordures ménagères entre 1993 et 2007	726
Tableau 221 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 1993	727
Tableau 222 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 2007	727
Tableau 223 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 2017	728
Tableau 224 : Composition des déchets stockés en installation de stockage recevant des déchets ménagers (y.c. déchets industriels, hors boues) en Métropole	729
Tableau 225 : Historique du facteur d'oxydation des sites contrôlés non compactés	730
Tableau 226 : Substances pour lesquelles le secteur 5B est source clé en 2020 (hors UCTATF)	737
Tableau 227 : Substances pour lesquelles le secteur 5C est source clé en 2020 (hors UCTATF)	745
Tableau 228 : Substances pour lesquelles le secteur 5D est source clé en 2020 (hors UCTATF)	757
Tableau 229 : Répartition de la population par type de traitement/rejet des eaux usées domestiques en Métropole en 2020	757
Tableau 230 : Répartition du type de traitement des eaux usées domestiques en Métropole.....	758
Tableau 231 : Evolution de la consommation journalière de protéines d'un habitant en France métropolitaine.....	759
Tableau 232 : Demande Chimique en Oxygène (DCO) des industries de l'agroalimentaire (IAA) traitée par lagunage naturel	763
Tableau 233 : Quantité de boues méthanisées en STEP industrielles	764
Tableau 234 : Résumé des modifications des descriptions méthodologiques et des recalculs	775
Tableau 235 : Écart en émissions entre la version de mars 2021 et celle de mars 2022 (pour les années 1990 et 2019) - périmètre Kyoto	778
Tableau 236 : Écart en évolution entre la version de mars 2021 et celle de mars 2022 - périmètre Kyoto.....	780

Tableau 237 : Suivi des améliorations méthodologiques envisagées sur les inventaires	781
Tableau 238 : Emissions et absorptions dans le cadre des articles 3.3 et 3.4 du Protocole de Kyoto	786
Tableau 239 : Sélection des paramètres pour la définition de « Forêt » pour le Protocole de Kyoto	787
Tableau 240 : surfaces rapportées au titre du protocole de Kyoto depuis 1990	793
Tableau 241 : Bilan dans les PLR rapportés au titre du protocole de Kyoto depuis 1990	802
Tableau 242 : Correspondance entre catégories Convention et activités au titre du Protocole de Kyoto	803
Tableau 243 : Synthèse tables SEF 2021, unités de période 2	812
Tableau 244 : Niveau de référence pour les produits ligneux	815
Tableau 245 : Évaluation des catégories clés 2020 - analyse des niveaux d'émissions hors UTCATF - Tier 1	844
Tableau 246 : Évaluation des catégories clés 1990 - analyse des niveaux d'émissions hors UTCATF - Tier 1	845
Tableau 247 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2020 - analyse des évolutions des émissions hors UTCATF - Tier 1	846
Tableau 248 : Évaluation des catégories clés 2020 - analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF - Tier 1	847
Tableau 249 : Évaluation des catégories clés 1990 - analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF - Tier 1	848
Tableau 250 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2020 - analyse des évolutions des émissions avec UTCATF - Tier1	849
Tableau 251 : Évaluation des catégories clés 2020 - analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF-KP - Tier1	850
Tableau 252 : Évaluation des catégories clés 2020 - analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF - Tier 2	851
Tableau 253 : Évaluation des catégories clés 1990 - analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF - Tier 2	852
Tableau 254 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2020 - analyse des évolutions des émissions avec UTCATF - Tier 2	853
Tableau 255 : Correspondances entre "capacité" des enquêtes bâtiment et catégorie animale de la SAA	857
Tableau 256 : Paramètres utilisés pour la pondération des capacités truies	858
Tableau 257 : Correspondances entre les capacités des enquêtes bâtiment et les libellés des pratiques d'élevage	858
Tableau 258 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches laitières	860
Tableau 259 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches allaitantes et autres bovins	861
Tableau 260 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut du Porc	862
Tableau 261 : Premiers retraitements des données pratiques d'élevage 2015 par le Citepa pour les bovins	864
Tableau 262 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 - Bovins	865
Tableau 263 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 - Porcins	866
Tableau 264 : Traitement des données sur les systèmes de gestion des déjections sur la période	871
Tableau 265 : Traitement des données sur les temps d'hébergement sur la période	872
Tableau 266 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Bovins	873
Tableau 267 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Porcins	875

Tableau 268 : Besoins en paille par catégorie animale - Ovins.....	875
Tableau 269 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Ovins.....	875
Tableau 270 : Besoins en paille par catégorie animale - Caprins	875
Tableau 271 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Caprins	876
Tableau 272 : Évolutions des productions de céréales et oléagineux (kt) - Métropole	879
Tableau 273 : Évolutions des productions de protéagineux, tubercules, fourrages et herbe (kt) - Métropole	879
Tableau 274 : Synthèse des paramètres retenus pour les résidus de culture	882
Tableau 275 : Modifications intervenues dans le secteur de l'énergie (CRF 1) entre la mise à jour de la soumission de mars 2021 et celle de mars 2022 (Périmètre Kyoto).....	885
Tableau 276 : Modifications intervenues dans le secteur des procédés industriels (CRF 2) entre la mise à jour de la soumission de mars 2021 et celle de mars 2022 (Périmètre Kyoto).....	886
Tableau 277 : Modifications intervenues dans le secteur de l'agriculture (CRF 3) entre la mise à jour de la soumission de mars 2021 et celle de mars 2022 (Périmètre Kyoto).....	887
Tableau 278 : Modifications intervenues dans le secteur de l'UTCATF (CRF 4) entre la mise à jour de la soumission de mars 2021 et celle de mars 2022 (Périmètre Kyoto).....	888
Tableau 279 : Modifications intervenues dans le secteur des déchets (CRF 5) entre la mise à jour de la soumission de mars 2021 et celle de mars 2022 (Périmètre Kyoto).....	889
Tableau 280 : Calcul d'incertitude sur les émissions des GES en France en 2020	891
Tableau 281 : Calcul d'incertitude sur les émissions des GES en France en 1990	894

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 direct (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆ et NF₃) et à effet indirect (NO_x, CO, COVM, SO₂). Le Protocole de Kyoto, adopté le 10 décembre 1997 et entré en vigueur le 16 février 2005, précise les engagements assignés à chaque État signataire. 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 2^{ème} période d'engagement au titre du Protocole de Kyoto (2013-2020). Cet amendement a été adopté par la décision 1/CMP.8 à la 8^{ème} réunion des Parties au Protocole de Doha (8 décembre 2012) : il est entré en vigueur le 2 octobre 2020, suite à sa ratification par la Jamaïque. **L'Accord de Paris**, adopté le 12 décembre 2015, constitue le premier instrument juridique international liant pays industrialisés et pays 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.

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 par exemple celle relative à la pollution transfrontière à longue distance (France métropolitaine uniquement).

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

L'inventaire national est constitué des éléments suivants :

- **le rapport d'inventaire** (présent document) fournissant les résultats, les commentaires associés et les sources d'émissions en 1^{ère} partie ainsi que les éléments supplémentaires du Protocole de Kyoto en 2^{ème} partie,
- **la base de données OMINEA** dans laquelle sont rapportés les données d'activité et facteurs d'émission de l'inventaire,
- **les tables de données au format CRF** pour les deux périmètres concernant la France¹,
- **la soumission électronique au format XML du CRF Reporter** (incluant toutes les données rapportées de 1990 à 2020).

La structure du rapport est conforme aux exigences de la CCNUCC (cf. section 1.1).

Ce rapport est basé sur les inventaires d'émission soumis au GCIIE et validés par le MTE.

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 2021.

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

¹ La France soumet un inventaire au périmètre dit « Convention » qui englobe l'ensemble des territoires français, outre-mer inclus, et le périmètre dit « Kyoto » qui se limite aux territoires inclus dans l'UE (France métropolitaine + la Guadeloupe, la Martinique, la Guyane, La Réunion, Mayotte depuis 2014 et Saint-Martin).

Résumé

Généralités sur les inventaires

Le présent rapport national d'inventaire fournit pour la France, sur la période 1990-2020, 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 Protocole de Kyoto en général,
- de l'amendement de Doha établissant la 2^{ème} période d'engagement au Protocole de Kyoto (2013-2020).

Cette édition d'inventaire rapporté en 2022 constitue l'inventaire qui va solder la deuxième période d'engagement du Protocole de Kyoto (2013-2020). Les substances inventoriées sont les sept gaz à effet de serre direct qui constituent le « panier de Kyoto » : dioxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄), protoxyde d'azote (N₂O), les deux familles de substances halogénées - hydrofluorocarbures (HFC) et perfluorocarbures (PFC), l'hexafluorure de soufre (SF₆) et le trifluorure d'azote (NF₃). A ces substances s'ajoutent les quatre gaz à effet de serre indirect : SO₂, NO_x, COVM et CO pour lesquels les Etats sont invités à rapporter les émissions dans le cadre de la Convention.

Pour l'ensemble de la période 1990-2019, 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.

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.

Summary

Background information

This national inventory report supplies emission data for France within the 1990-2020 period, concerning all the substances that contribute to enhancing the greenhouse effect, required under:

- the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC),
- the Kyoto Protocol,
- the 2nd commitment period to the Kyoto Protocol (2013-2020).

This edition of the inventory reported in 2022 is the inventory that will close the second commitment period of the Kyoto Protocol (2013-2020). The substances covered are the direct greenhouse gases comprising the "Kyoto Protocol basket": carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), the two species of halogenous substances, hydrofluorocarbons (HFCs) and perfluorocarbons (PFCs), sulphur hexafluoride (SF₆) and nitrogen trifluoride (NF₃). Emissions of sulphur dioxide (SO₂), 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 period 1990-2019 as a whole, estimates provided in the previous inventories have been reviewed and corrected to take into account updated statistics, improved knowledge, possible changes in methodology and specifications contained in the guidelines (FCCC/CP/2013/10), as defined by the UNFCCC. Several changes have been added to take into account the remarks of the reviews of UNFCCC.

Although significant continuous progress has been achieved in terms of the sources covered and the quality of estimates, considerable uncertainties remain concerning emissions. These should be borne in mind when using the data in this report. A table indicating uncertainties based on current knowledge has been included in the report.

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.

Future reviews of these data are always possible, if not probable, to take into account both changes in methodology and work underway at international level with a view to improving knowledge and rules on compiling and presenting emissions.

Pour répondre spécifiquement aux obligations du Protocole de Kyoto, ce rapport inclut également les informations supplémentaires requises dans le cadre de :

To answer specifically to the Kyoto Protocol's requirements, this report also includes the supplementary information required under:

- l'article 7.1 du Protocole de Kyoto, en particulier les informations concernant la prise en compte de l'UTCATF dans le Protocole de Kyoto (articles 3.3 et 3.4), la comptabilité des unités Kyoto, les changements dans le système national et dans le registre national,
- l'article 3.14 du Protocole de Kyoto concernant les questions de minimisation des effets adverses sur les pays en développement.
- Article 7, paragraph 1, of the Kyoto Protocol, especially information on LULUCF activities under Kyoto Protocol (articles 3.3 and 3.4), accounting of Kyoto units, changes in national system and in national registry,
- Article 3, paragraph 14, of the Kyoto protocol, concerning issues relating to minimization of adverse impacts on developing country Parties.

Périmètre Kyoto (périmètre géographique France des territoires appartenant à l'UE : Métropole + Territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE)

Kyoto scope (geographical perimeter of France relating to French UE territories: France Main Land + French Overseas territories belonging to UE)

Tendances relatives aux émissions (Cf. Tableau 1)

National emissions and removal trends (Cf. Table 1)

Les **émissions des gaz à effet de serre direct** exprimées en CO₂ équivalent hors UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) se situent pour **l'année 2020 à 28% au-dessous de celles de 1990**. Il faut rappeler le caractère exceptionnel du niveau des émissions de GES de l'année 2020 du fait des mesures sanitaires contre la pandémie de la Covid-19 (-9.6% d'émissions entre 2020 et 2019 hors UTCATF). Cette évolution globale se traduit dans le détail des sept gaz impliqués par des **situations beaucoup plus contrastées**. Hors UTCATF, le niveau d'émission de dioxyde de carbone est en 2020 inférieur de 27% à celui de 1990, les rejets de méthane sont en recul de 21%, et les émissions de protoxyde d'azote sont **elles en baisse de 44%**.

The **emissions of gases which directly contribute to the greenhouse effect**, expressed in terms of CO₂ equivalent, **decreased by 28% in 2020 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 (-9.6% of emissions between 2020 and 2019 excluding LULUCF). This overall trend **masks contrasting situations** depending on the gases considered. **Without LULUCF, the level of CO₂ emissions is 27% lower in 2020 than in 1990, while CH₄ and N₂O emissions fell by 21% and 44% respectively.**

L'inventaire met aussi en évidence une **évolution très importante des émissions des hydrofluorocarbures en masse (+ 807%)** qui, compte tenu des **différences structurelles** liées aux molécules mises en jeu, se traduit "seulement" par un **accroissement de 167% en termes de pouvoir de réchauffement global (pour les HFC)**. Exprimées en CO₂ équivalent, les

The inventory also shows a strong increase in **mass hydrofluorocarbons emissions (+ 807%)**. Taking into account **structural differences** in the molecules, it results "only" in a **167% increase in terms of Global Warming Potential (GWP)**. Expressed in CO₂ equivalent, over the period

émissions de perfluorocarbures (PFC), d'hexafluorure de soufre (SF₆) et de trifluorure d'azote (NF₃) sont en régression de 90%, 84% et 48%, respectivement, sur la période 1990-2020.

La contribution des différents gaz à effet de serre est la suivante pour 2020 (en % des émissions en CO₂e hors UTCATF) : CO₂ 73,6% ; CH₄ 13,9% ; N₂O 9,2% ; HFC 3,0% ; PFC 0,1% ; SF₆ 0,1% ; NF₃ < 0,01%.

1990-2020, PFC, SF₆ and NF₃ emissions fell by 90%, 84% and 48%, respectively.

Out of the greenhouse gases covered by the Kyoto Protocol, CO₂ accounted for the largest share in total CO₂e emissions (without LULUCF) in 2020 (73.6%), followed by CH₄ (13.9%), N₂O (9.2%), HFCs (3.0%), PFCs (0.1%), SF₆ (0.1%) and NF₃ (<0.01%).

Tableau 1 : Résumé des émissions de gaz à effet de serre en France (périmètre Kyoto)

EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE (périmètre Kyoto ^(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 2022

serre/résumé.xlsx

Substance	Unité	1990		2020		Ecart 2020/90 (%)	
		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	398	370	289	271	-27%	-27%
	Mt équ. C ^(d)	109	101	79	74	-27%	-27%
CH ₄	kt	2 766	2 804	2 186	2 230	-21%	-20%
	Mt CO ₂ e	69	70	55	56	-21%	-20%
	Mt équ. C ^(d)	19	19	15	15	-21%	-20%
N ₂ O	kt	217	228	122	131	-44%	-42%
	Mt CO ₂ e	65	68	36	39	-44%	-42%
	Mt équ. C ^(d)	18	19	10	11	-44%	-42%
HFC	t	659	659	5 971	5 971	807%	807%
	Mt CO ₂ e	4,4	4,4	12	12	167%	167%
	Mt équ. C ^(d)	1,2	1,2	3,2	3,2	167%	167%
PFC	t	588	588	60	60	-90%	-90%
	Mt CO ₂ e	5,2	5,2	0,5	0,5	-90%	-90%
	Mt équ. C ^(d)	1,4	1,4	0,1	0,1	-90%	-90%
SF ₆	t	95	95	15	15	-84%	-84%
	Mt CO ₂ e	2,2	2,2	0,3	0,3	-84%	-84%
	Mt équ. C ^(d)	0,6	0,6	0,1	0,1	-84%	-84%
NF ₃	t	1,0	1,0	0,5	0,5	-48%	-48%
	Mt CO ₂ e	0,02	0,02	0,01	0,01	-48%	-48%
	Mt équ. C ^(d)	0,004	0,004	0,002	0,002	-48%	-48%
CO ₂ e ^(b)	Mt CO ₂ e	544	520	393	379	-28%	-27%
	Mt équ. C ^(d)	148	142	107	103	-28%	-27%
	kg CO ₂ e/hab.	9 341	8 929	5 832	5 624	-38%	-37%
	kg C/hab. ^(**)	2 548	2 435	1 591	1 534	-38%	-37%
	g CO ₂ e/€ PIB	498	476	171	165	-66%	-65%
	g C/€ PIB ^(**)	136	130	47	45	-66%	-65%
Gaz à effet de serre indirect							
SO ₂	kt	1 307	1 307	104	104	-92%	-92%
NOx	kt	2 133	2 154	683	700	-68%	-68%
COVNM	kt	2 931	4 033	955	2 271	-67%	-44%
CO	kt	11 060	11 802	2 179	2 793	-80%	-76%

(a) puits, changement d'utilisation des sols et sylviculture inclus

(b) Emissions CO₂ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 4^{ème} rapport du GIEC (GIEC 2007 - AR4).PRG: CO₂ = 1 ; CH₄ = 25 ; N₂O = 298 ; SF₆ = 22800 ; NF₃ = 17200 ; 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 CO₂

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

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

	1990	2020	Ecart (%) 2020/90
Population (10 ³ hab.) ^(e)	58 248	67 382	16%
PIB (10 ⁹ € courants) ^(e)	1 092	2 303	111%

(e) source INSEE

Tendances relatives aux émissions par catégorie de sources

L'énergie, avec 67,4% des émissions totales en CO₂e hors UTCATF en 2020, occupe le premier rang des catégories de sources émettrices en France au sens de la classification de la CCNUCC devant l'agriculture, 17,9%. Viennent ensuite les procédés industriels, 10,2% et les déchets 4,5%. 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 2020 :

- un recul exceptionnel des émissions totales de CO₂ du transport (-10,1%) en 2020, suite à la crise sanitaire en 2020 (les émissions de 2019 étaient 8% au dessus du niveau de 1990),
- une baisse considérable des émissions de N₂O de la chimie (-97%) et, à un degré moindre, des sols agricoles (-13,8%),
- une baisse conséquente des émissions fugitives de CH₄ consécutivement à l'arrêt de l'exploitation des mines de charbon (-99,5%),
- le déclin de l'utilisation des PFC (-90% en CO₂e) au bénéfice des HFC et l'augmentation très importante des émissions de ces derniers composés (+167% en CO₂e).

Le bilan de l'UTCATF représente un puits de CO₂ compensant, en 2020, plus de 6% des émissions totales hors UTCATF de GES exprimées en CO₂e (soit 18,0 Mt CO₂e).

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

Entre 1990 et 2020, les émissions des gaz à effet de serre indirect sont orientées à la baisse pour les quatre gaz visés. Cette baisse exprimée en masse est de 92% pour le dioxyde de soufre, de 76% pour le monoxyde de carbone, de 68% pour les oxydes d'azote et de 44% pour les composés organiques volatils non méthaniques.

Comptabilité Kyoto

Pour la deuxième période Kyoto, les Etats Membres de l'Union européenne ont pris un engagement conjoint de réduction de leurs émissions de 20% en 2020 par rapport à 1990. Au sein de l'Union européenne, cet objectif se décompose en deux objectifs : l'un pour

Source and sink category emission estimates and trends

The energy sector is the most important emitting source in 2020 in France in regard to the UNFCCC source categories with 67.4% of the CO₂e national emissions without considering LULUCF contribution. Agriculture, industrial processes and waste sectors represent 17.9%, 10.2% and 4.5% 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 2020 include:

- an exceptional overall decrease in the emissions of the transport sector since 1990 (-10.1%) in 2020, following the sanitary crisis in 2020 (the emission levels of 2019 were 8% above the 1990 ones),
- a considerable reduction in N₂O emissions in the chemical industry (-97%) and, to a lesser extent, from agricultural soils (-13.8%),
- a fall in CH₄ fugitive emissions as a result of the closure of coal mines (-99.5%),
- the decline in the use of PFCs (-90% in CO₂e) in favour of HFC and the major increase in emissions of these compounds (+167% in CO₂e).

In 2020, the CO₂ balance for LULUCF is a net removal which represents more than 6% of the total GHG emissions without LULUCF contribution, expressed as CO₂ equivalent (i.e., 18.0 Mt CO₂e).

Indirect greenhouse gas emissions (LULUCF included)

Between 1990 and 2020, there was a downward trend in mass emissions of the four gases that indirectly contribute to the greenhouse effect: -92% for sulphur dioxide, -76% for carbon monoxide, -68% for nitrogen oxides and -44% for non-methane volatile organic compounds.

Kyoto Accounting

Concerning the second Kyoto period, Member States committed to reduce their GHG emissions by 2020 by 20% compared to 1990. For the EU, this reduction target has two aims: one for ETS emissions and another for non-ETS emissions. It has been decided to share the efforts to achieve this target attributing objectives for each Member

les émissions soumis au système d'échange de quotas (ETS) et un deuxième pour les émissions qui ne sont pas prises en compte dans ce système (hors ETS). La décision du partage de l'effort a réparti l'objectif de 20% en objectifs pour chaque Etat Membre soit - 14% de réduction des émissions hors ETS pour la France en 2020 par rapport au niveau 2005. Ces objectifs nationaux hors ETS avait été exprimé par l'UE sous forme de plafonds annuels de 2013 à 2020. La France a pu respecter ses objectifs Européen pour les engagements UE de la deuxième période Kyoto (2013-2020).

Concernant l'UTCATF, sa prise en compte dans le cadre du Protocole de Kyoto est assurée par les articles 3.3 et 3.4 du Protocole et le rapportage spécifique CRF KP UTCATF.

State (a 14% non-ETS emission reduction is expected for France in 2020, compared to 1990 level). These non-ETS national targets were expressed by the EU in the form of annual ceilings from 2013 to 2020. France was able to meet its European targets for EU commitments for the second Kyoto period (2013-2020).

Concerning LULUCF under the Kyoto Protocol, related activities are managed with the articles 3.3 and 3.4 of the Protocol and the dedicated reporting within the CRF KP LULUCF tables.

1ère PARTIE

Inventaire annuel des émissions de gaz à effet de serre

Jean-Pierre CHANG¹, Julien VINCENT², Grégoire BONGRAND³, Jean-Marc ANDRE⁴, Stéphanie BARRAULT⁴, Romain BORT⁴, Benjamin CUNIASSE⁴, Eunice DOSSA⁴, Ariane DRUART⁴, Anaïs DURAND⁴, Etienne FEUTREN⁴, Tara GLASS⁴, Lisa GRELLIER⁴, Valérie IMAD⁴, Coralie JEANNOT⁴, Mélanie JUILLARD⁴, Bernardo MARTINS⁴, Etienne MATHIAS⁴, Vincent MAZIN⁴, Colas ROBERT⁴, Natalia SIRINA-LEBOINE⁴, Felipe TRONCO-LAMAISSON⁴, Thamara VIEIRA DA ROCHA⁴

¹Citepa, Supervision des travaux

²Citepa, Approbateur

³Citepa, Rédacteur principal

⁴Citepa, Contributeurs

1 INTRODUCTION

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 ou Convention de Rio), 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 (CO₂), protoxyde d'azote (N₂O), méthane (CH₄), hydrofluorocarbures (HFC), perfluorocarbures (PFC), l'hexafluorure de soufre (SF₆) et le trifluorure d'azote (NF₃), ainsi que les gaz à effet de serre indirect, SO₂, 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 la Communauté européenne a mis en place pour répondre à ses engagements en tant que Partie à la Convention un mécanisme de surveillance et de rapportage des émissions de CO₂ et autres gaz à effet de serre (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) 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 18^{ème} Conférence des Parties (COP-18) réunie à Doha le 8 décembre 2012. Cet amendement de Doha permet 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 (NF₃), 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 (ETS) et un deuxième pour les émissions qui ne sont pas prises en compte dans ce système (hors ETS). La décision du partage

de l'effort a réparti l'objectif de 20% en objectifs pour chaque Etat Membre soit - 14% de réduction des émissions hors ETS pour la France en 2020 par rapport au niveau 2005. Ces objectifs nationaux hors ETS avait été exprimé par l'UE sous forme de plafonds annuels de 2013 à 2020. La France a pu respecter ses objectifs Européen 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 144^e ratification (le 1^{er} octobre 2020 par la Jamaïque).

Dans le cadre de l'Accord de Paris, l'UE s'est engagée à réduire ses émissions de GES d'ici à 2030 de 40 %. De la même façon que pour 2020, cet effort de réduction a fait l'objet d'une répartition entre les secteurs de l'ETS et hors ETS partagé entre chaque État Membre. Pour le secteur ETS, l'objectif est de réduire les émissions de 43 % par rapport à 2005. L'objectif de réduction pour la France pour les secteurs hors ETS est de -37 % par rapport à 2005.

Au niveau national, la France s'est fixée au niveau national un objectif de réduction de l'ensemble de ses émissions de 40 % en 2030 par rapport à 1990, et d'atteindre la neutralité carbone en 2050 en divisant les émissions de gaz à effet de serre par au moins six.

Le 11 décembre 2020, les Chefs d'Etat et de Gouvernement des 27 Etats-Membres se sont mis d'accord pour rehausser l'objectif de réduction, à moyen terme, des émissions de gaz à effet de serre de l'UE, le faisant passer de -40 % à -55 % net d'ici 2030. Ce nouvel objectif devra être décliné au niveau des Etats-Membres au travers notamment d'une répartition entre les secteurs ETS et hors ETS.

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 visées par l'annexe I de la Convention (cf. document FCCC/CP/2013/10),
- les lignes directrices du GIEC de 2006, et les raffinements applicables au sein de l'Union européenne.

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

- présentement la période 1990-2020, i.e. cette édition d'inventaire rapporté en 2022 constitue l'inventaire qui va solder la deuxième période d'engagement du Protocole de Kyoto (2013-2020).
- sept gaz à effet de serre direct (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆, NF₃),
- quatre gaz à effet de serre indirect (SO₂, CO, COVM et NO_x).

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

- le rapport global (présent document) présentant et commentant les résultats ainsi que les sources d'émissions,
- la base de données contenant les données d'activité et facteurs d'émission par secteurs fournie en support informatique (base OMINEA),
- les tables de données au format CRF (l'année de référence et les deux dernières années, les autres années sont en support informatique).

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 CO₂ pour lequel le PRG est fixé à 1. Le pouvoir de réchauffement global, provenant des sept substances retenues dans l'amendement du Protocole de Kyoto est calculé au moyen des PRG respectifs de chacune des substances exprimées en équivalent CO₂ (CO₂e). Les valeurs des PRG utilisées et retenues pour les inventaires d'émissions correspondent aux valeurs définies par la CCNUCC, c'est à dire celles indiquées dans le 4^{ème} rapport du GIEC (AR4) :

PRG_{CO2} = 1 par définition

PRG_{CH4} = 25

PRG_{N2O} = 298

PRG_{SF6} = 22 800

PRG_{NF3} = 17 200

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	3 500	1 430	4 470	124	3 220	794	14 800	1 640	675	1 030

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 ₃ F ₈	c-C ₄ F ₈	C ₄ F ₁₀	C ₅ F ₁₂	C ₆ F ₁₄	C ₁₀ F ₁₈ *
Base de calcul	7 390	12 200	8 830	10 300	8 860	9 160	9 300	7 500

* le PRG utilisé pour le C₁₀F₁₈ est de 7 500 (indiqué « > 7 500 » dans l'AR4)

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

- CO₂ dioxyde de carbone exprimé en CO₂, soit hors UTCATF², soit UTCATF inclus,
- CH₄ méthane exprimé en CH₄,
- N₂O protoxyde d'azote ou oxyde nitreux exprimé en N₂O,
- 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),
- SF₆ hexafluorure de soufre exprimé en SF₆,
- NF₃ trifluorure d'azote exprimé en NF₃.

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

² UTCATF: Utilisation des Terres, Changement d'affectation des Terres et de Foresterie

n'entrent pas dans le « panier de Kyoto ». 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 CO₂.

- COVNM, composés organiques volatils non méthaniques exprimés en somme de COV en masse (aucune équivalence n'est prise en compte),
- NO_x (NO + NO₂), exprimés en équivalent NO₂,

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 (SO₂ + SO₃), exprimés en équivalent SO₂,

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 dans l'atmosphère conformément aux dispositions mises en place par le **Ministère de la Transition Écologique (MTE)**, 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 en charge de l'Écologie (MTE)**.

Le MTE prend en coordination avec les autres ministères concernés les décisions utiles à la mise en place et au fonctionnement du SNIEBA, en particulier les dispositions institutionnelles, juridiques ou de procédure. À 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 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 prévu au paragraphe 1 de l'article 5 du protocole de Kyoto et aux exigences des règlements européens n° 525/2013 (MMR) et 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.

Répartition des responsabilités

Les responsabilités sont réparties comme suit :

- La **maîtrise d'ouvrage de la réalisation des inventaires et la coordination d'ensemble du système** sont assurées par le MTE.
- **D'autres ministères et organismes publics** contribuent aux inventaires d'émissions par la mise à disposition de **données et statistiques** utilisées pour l'élaboration des inventaires.
- L'**élaboration des inventaires d'émission** en ce qui concerne les **méthodes** et la préparation de leurs évolutions, la **collecte et le traitement des données**, l'**archivage**, la **réalisation des rapports et divers supports**, la gestion du **contrôle** et de la **qualité**, est confiée au Citepa (Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique) par le MTE. Le Citepa assiste le MTE dans la coordination d'ensemble du système national d'inventaires des émissions de polluants dans l'atmosphère. A ce titre, il convient de mentionner tout particulièrement la coordination qui doit être assurée entre les inventaires d'émissions et les registres d'émetteurs tels que l'E-PRTR et le registre des quotas d'émissions de gaz à effet de serre dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission (SEQUE), sans oublier d'autres aspects (guides publiés par le MTE, système de déclaration annuelle des rejets de polluants, etc.) pour lesquels il est important de veiller à la cohérence des informations.
- Le MTE met à disposition du Citepa toutes les informations dont il dispose dans le cadre de la réglementation existante, comme les déclarations annuelles de rejets de polluants des Installations Classées, ainsi que les résultats des différentes études permettant un enrichissement des connaissances sur les émissions qu'il a initiées tant au sein de ses services que d'autres organismes publics comme l'INERIS. Par ailleurs, l'arrêté SNIEBA du 24 août 2011 établit une liste des statistiques et données émanant d'organismes publics ou ayant une mission de service public, utilisées pour les inventaires d'émission (cf. tableau suivant relatif à l'annexe II de l'arrêté SNIEBA).

ANNEXE II

LISTE INDICATIVE DES STATISTIQUES ET DONNÉES ÉMANANT D'ORGANISMES PUBLICS
OU AYANT UNE MISSION DE SERVICE PUBLIC UTILISÉES POUR LES INVENTAIRES D'ÉMISSION

SECTEUR	TYPE DE DONNÉES	ORGANISME ÉMETTEUR des données
Énergie	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'écologie
	Consommations d'énergie dans les industries agricoles et alimentaires (IAA).	Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche
	Comptes des transports de la nation. Statistiques du transport maritime. Statistiques du transport aérien.	Ministère chargé des transports
Procédés industriels	Déclarations annuelles des rejets polluants de certaines installations classées.	Ministère chargé de l'écologie
	Production des IAA. Enquêtes de branches.	Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche
	Statistiques industrielles.	INSEE
	Inventaires de fluides frigorigènes.	ADEME
Utilisation de solvants et autres produits	Déclarations annuelles des rejets polluants de certaines installations classées.	Ministère chargé de l'écologie
	Production, imports et exports, consommation de peinture/encre/colle.	INSEE 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
UTCFA (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 métropole.	IFN
	Température/rayonnement solaire global.	Réseau RenEcofor/ONF
Déchets	Inventaire des installations de traitement des déchets ménagers et assimilés. Statistiques déchets de soins à risques. Statistiques déchets industriels.	ADEME et ministère en charge de l'écologie
	Déclarations de rejets polluants. Surveillance dioxines/métaux lourds des usines d'incinération.	Ministère chargé de l'écologie
Tous secteurs	Tout ou partie des éléments ci-dessus selon les secteurs, pour les inventaires territoriaux.	Voir ci-dessus, et AASQA, CITEPA, services des collectivités

- Le MTE pilote le **Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émissions (GCIIE)** qui a notamment pour mission de :
 - o **donner un avis sur les résultats** des estimations produites dans les inventaires,
 - o **donner un avis sur les changements** apportés dans les **méthodologies** d'estimation,
 - o **donner un avis sur le plan d'action d'amélioration** des inventaires pour les échéances futures,
 - o **émettre des recommandations** relativement à tout sujet en rapport direct ou indirect avec les inventaires d'émission afin d'assurer la cohérence et le bon déroulement des actions, favoriser leurs synergies, etc.,
 - o **recommander des actions d'amélioration** des estimations des émissions vers les **programmes de recherche**,

Le GCIIE est composé à ce jour de représentants :

- o du Ministère de la Transition Écologique (MTE) notamment de la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), de la Direction générale de la prévention des risques (DGPR), de la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN), de la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM), de la Direction générale de l'aviation civile (DGAC) et des services statistiques du MTE notamment le SDES,
 - o du **Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (MAA)**, notamment le Service de la statistique et de la prospective (SSP) et de la Direction générale de la performance économique (DGPE),
 - o du Ministère de l'économie, des finances et de la relance, notamment de la Direction générale de l'INSEE et de la Direction générale du Trésor,
 - o de l'**Agence de la Transition Ecologique (ADEME)**,
 - o de l'**Institut National de l'Environnement industriel et des risques (INERIS)**.
 - o de diverses institutions et agences qui sont également invitées en tant qu'observateurs : c'est le cas des agences agréées pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA), les observatoires régionaux d'émissions de gaz à effet de serre ou encore le Haut-Conseil pour le Climat (HCC).
- La **diffusion des inventaires d'émissions** est partagée entre plusieurs services du MTE qui reçoivent les inventaires approuvés transmis par la DGEC :
 - o La **DGEC** assure la diffusion des **inventaires d'émissions** qui doivent être **transmis à la Commission européenne** en application des directives, notamment **l'inventaire des Grandes Installations de Combustion** dans le cadre de la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, ainsi que les inventaires au titre de la directive (EU) 2016/2284 du Parlement européen et du Conseil du 14 décembre 2016 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques. Elle assure également la diffusion des **inventaires** relatifs à la **Convention de la Commission Économique pour l'Europe des Nations Unies relative à la Pollution Atmosphérique Transfrontière à Longue Distance (CEE-NU - CPATLD)**.
 - o La DGEC assure également la diffusion de **l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre** établi au titre du règlement européen 2018/1999 (gouvernance de l'union de l'énergie et du climat) qui remplace le règlement n°525/2013 dit « MMR », ainsi que la diffusion de cet inventaire au titre de la **Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC)** et en particulier relativement au Protocole de Kyoto auprès du **Secrétariat de la Convention**.
 - o A la demande du MTE, le **Citepa** assure la diffusion de tous les inventaires qu'il réalise par, notamment, la **mise en accès public libre des rapports** correspondants à l'adresse Internet <https://www.citepa.org/fr/publications/>. Certains de ces rapports sont parfois également présents sur d'autres sites ou diffusés sous différentes formes par d'autres organismes. Le Citepa est également chargé de diffuser des informations techniques relatives aux méthodes d'estimation et est notamment désigné comme **correspondant technique des institutions internationales** citées ci-dessus. A ce titre, le Citepa est le **Point Focal National** désigné par le MTE dans le cadre de **l'évaluation de la modélisation intégrée** pour ce qui concerne les **émissions**. Le Citepa assure conjointement avec le MTE la diffusion de l'inventaire d'émissions dit « SECTEN » qui présente d'une manière générale des séries longues et autres données spécifiques relatives aux sources émettrices en France.

1.2.2 Planification, préparation et management

Les différentes étapes du processus sont explicitées ci-après et représentées par le schéma ci-après.

- 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 (GCIE).

Le **Groupe de coordination et d'information sur les inventaires d'émissions (GCIE)** 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 Ministre en charge 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.

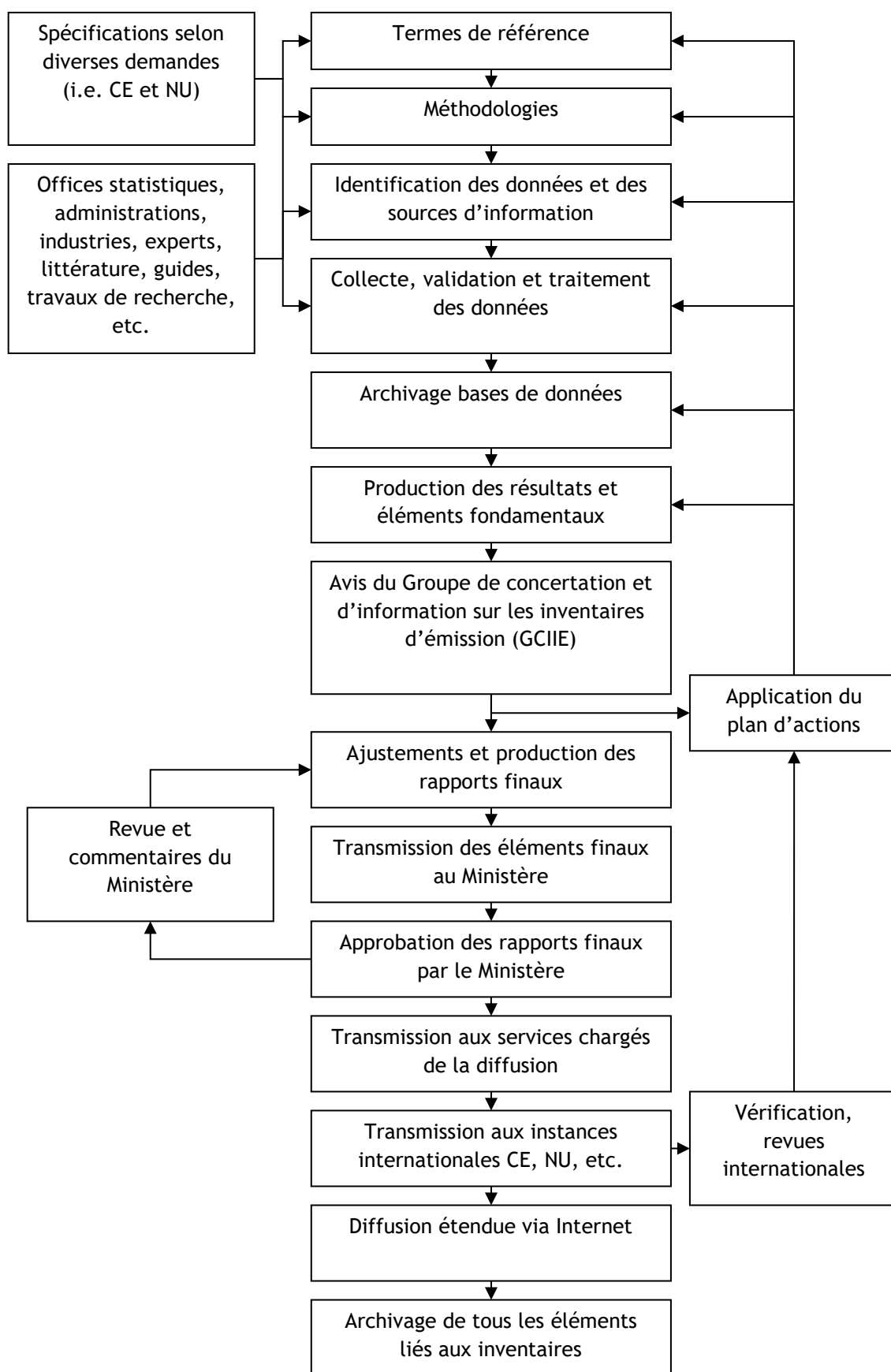
Les éléments finalisés sont remis au MTE qui, après examen et approbation, les communique aux instances internationales après les avoir éventuellement intégrées dans les rapports nationaux (communication nationale, rapportage au titre de la décision 2005/166/CE, décision 15/CMP.1 de la CCNUCC, etc.).

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 toutes les remarques effectuées par divers lecteurs et les anomalies éventuellement détectées ainsi que le résultat des actions menées au titre de l'assurance qualité (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 Assurance qualité, contrôle qualité et vérification

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

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

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

Management de la qualité

Le système national d'inventaire d'émissions est établi en intégrant les critères usuels applicables aux **Systèmes de Management de la Qualité (SMQ)**. Le Citepa, qui a la charge de réaliser au plan technique les inventaires d'émission nationaux, a mis en place un tel système basé sur le référentiel **ISO 9001**. Cette disposition est confirmée par l'attribution d'un certificat délivré par l'AFAQ en 2004 et renouvelé en 2007, 2010, 2013, 2016, 2018 et 2021, ainsi que par les audits annuels de suivi. La réalisation des inventaires d'émission nationaux est couverte par le SMQ au travers de plusieurs processus spécifiques (voir Manuel Qualité - document interne non public).

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

- Fonctions générales de revue, de management des ressources, de planification, de veille et de participations à des travaux externes en rapport avec les inventaires d'émission.
- Choix, mise en œuvre et développement des méthodologies ainsi que la sélection des sources d'information et la collecte des données. Les processus de choix des méthodes sont clairement établis notamment vis-à-vis des cadres référentiels et des caractéristiques de pertinence et de pérennité attendues des sources de données. Ces choix sont généralement effectués en concertation avec les acteurs et experts des domaines concernés. Les modifications méthodologiques sont soumises à l'appréciation du Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émissions (GCIE).
- 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 (GCIE).
- 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 GCIIIE.
- 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 (CRF, NFR, GIC, etc.) et en particulier : explications additionnelles, utilisation des codes de notes définis, modifications introduites dans le dernier exercice, ajustements rétrospectifs, données spécifiques (en particulier pour l'UTCATF en application des articles 3.3 et 3.4 du protocole de Kyoto), 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,
 - La recherche d'une efficacité dans les travaux réalisés (pertinence, précision, mise en œuvre des méthodes vs. moyens, etc.) visant à satisfaire les besoins de détermination des émissions et des puits.

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 VESUVE³. 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.

³ VESUVE : VErification et SUivi des fiches de l'inVEntaire

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 concernés.

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

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

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.

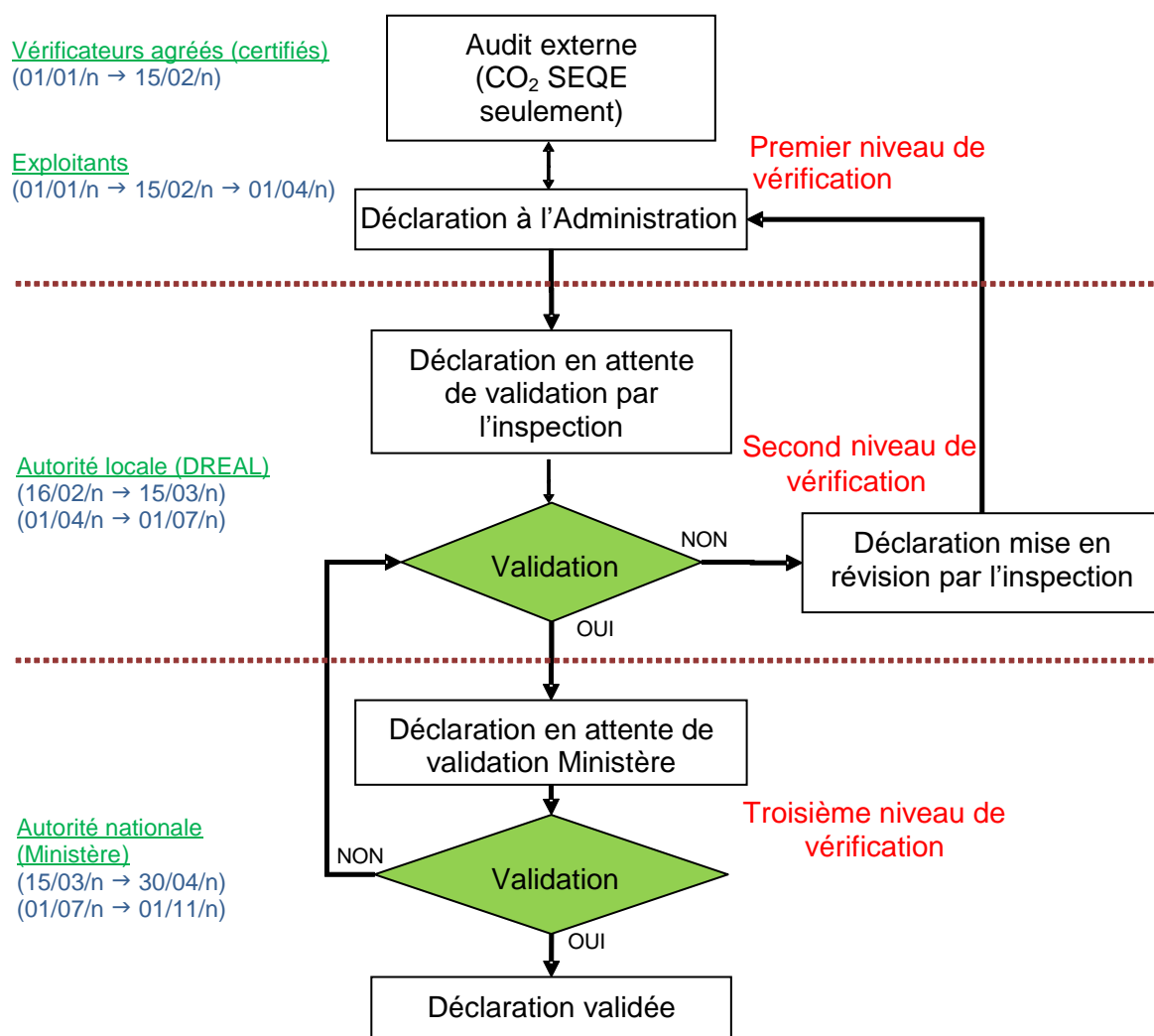
Le tableau présenté au paragraphe ci-après fournit la liste des vérifications effectuées en référence aux Bonnes Pratiques du GIEC. Bien d'autres dispositions s'y ajoutent.

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 (GCIE) 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. 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 2 : 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.

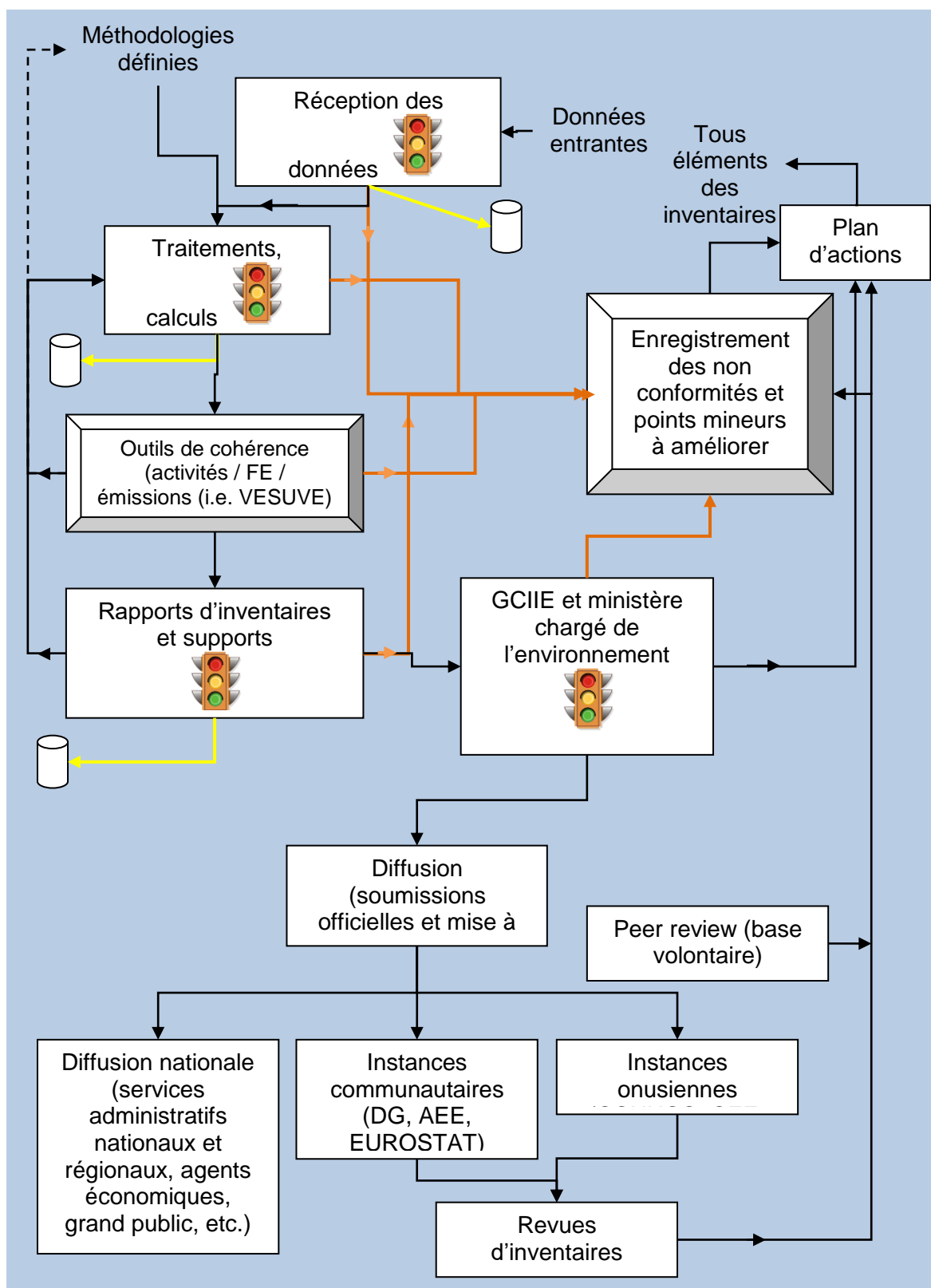
- Les échanges et actions bi et multi latérales conduites avec les organismes et experts étrangers chargés de réaliser des inventaires nationaux. La réalisation de revues complètes et approfondies par des tierces personnes se heurte à la double difficulté de la disponibilité des compétences et des ressources requises. Dans ce registre, des opérations bilatérales entre experts de deux pays 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 RISQ⁴. 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.

⁴ RISQ : Réseau Intégré du Système Qualité

Figure 3 : 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.),
 - 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 2 : 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	boudages, 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 étiquetées 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 étiquetés 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				

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

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	cohérence des données sources et des versions des rapports
			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	
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				

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

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

Les définitions des composantes mentionnées dans le tableau précédent telles que procédures, processus, modes opératoires, etc. sont explicitées dans le tableau suivant.

Processus		Procédures/ modes opératoires		Documents/ enregistrements	
Code	Intitulé	Code	Intitulé	Code	Intitulé
INV-Pr-01	Réalisation des inventaires	INV-Pd-1.01	Référentiels	INV-En-1.2.0-01	Améliorations GCI/E
		INV-Pd-1.02	PAM Méthodes		
		INV-Pd-1.03	Collecte des données		
		INV-Pd-1.04	Traitement des données		
		INV-Pd-1.05	Fiches méthodologiques		
		INV-Pd-1.06	Bases de données	INV-Mo-1.6.1	INAD
		INV-Pd-1.07	Rapports	INV-Mo-1.6.2	GIC (Grandes Installations de Combustion)
x	Ensemble des processus	CIT-Pd-0.03	Sauvegarde informatique		

1.2.4 Modification depuis la dernière soumission

Les dispositions institutionnelles du système national d'inventaire décrites dans le précédent rapport d'inventaire NIR (édition de mars 2021) restent valables. Une précision a été ajoutée dans le présent rapport concernant les parties prenantes du Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émission (GCIIE) : l'ajout d'autres institutions et agences qui sont invitées en tant qu'observateurs.

1.3 Préparation des inventaires, 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 de 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, SEQUE, 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 :
 - o du secteur, de la branche ou de l'activité économique,
 - o du type de procédé,
 - o de la nature des équipements utilisés,
 - o de la présence et du type d'équipements de prévention ou de réduction des émissions,
 - o de la capacité de production ou de fonctionnement de l'installation,
 - o de l'âge de l'installation ou de l'ancienneté de certains équipements,
 - o de divers paramètres liés aux conditions opératoires, etc.
 Cette phase d'élaboration se décompose en deux étapes :
 - o une étape préalable de mise en place des termes de référence, du choix des méthodologies, d'identification des données (source, disponibilité, confidentialité, etc.), des procédures de calcul, etc. Ces éléments sont ajustés suite aux retours des exercices précédents, des revues nationales et internationales, etc.
 - o une étape d'application des dispositions définies précédemment relative à la collecte et au traitement des données qui englobe validation, archivage, calculs, mise en œuvre de modèles, consolidation, 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.

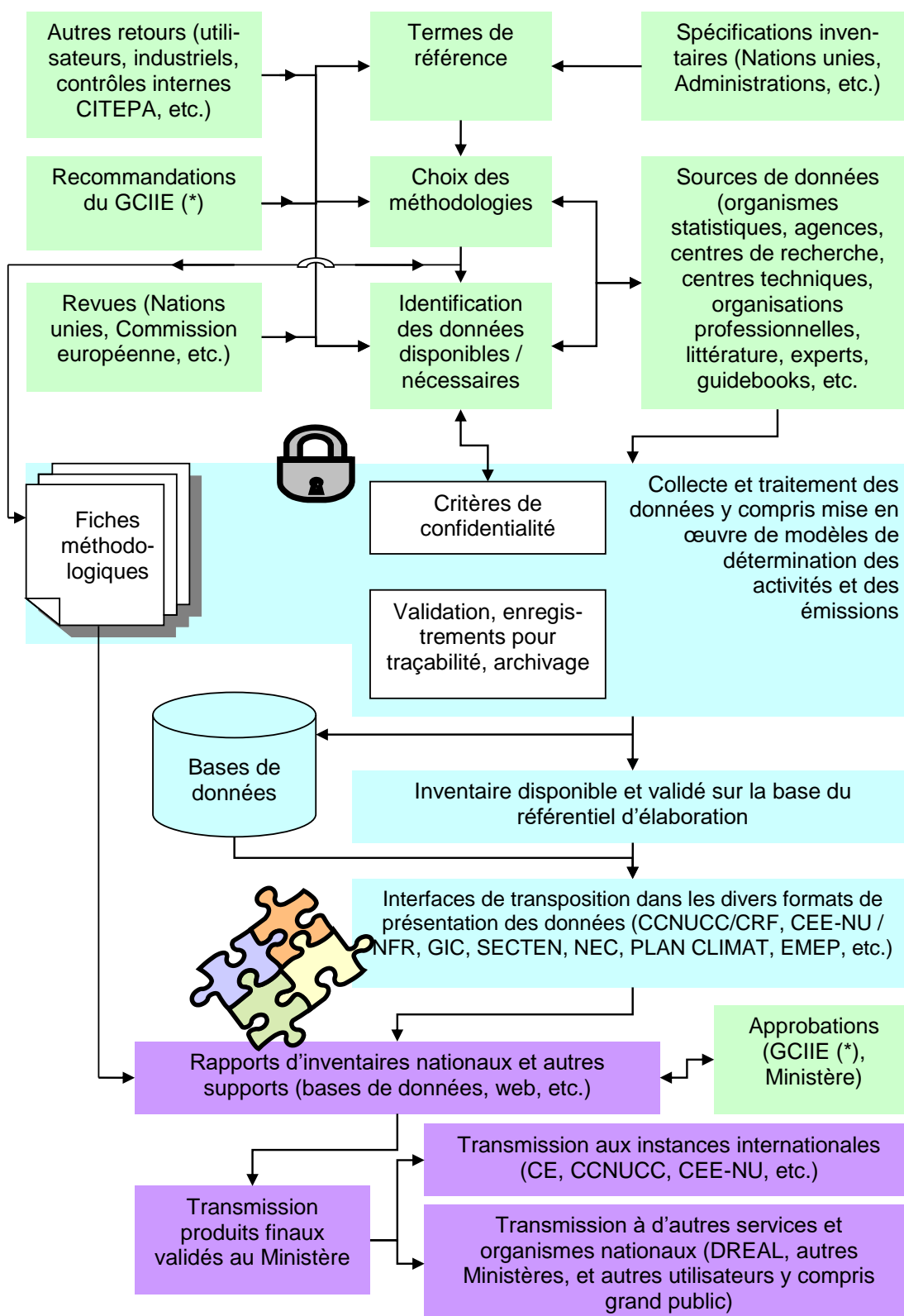
Tableau 3 : Principaux formats de rapportage produits par le SNIEBA

Inventaire	Nom du format opérationnel
CCNUCC et CCNUCC-KP	Common Reporting Format (CRF)
CEE-NU et NEC	Nomenclature For Reporting (NFR)
CEE-NU (EMEP)	EMEP (NFR limité en résolution mais grille 50 x 50 km)
GIC	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)

Le format pour le protocole de Kyoto comporte des éléments additionnels spécifiques relatifs à l'UTCATF et en particulier à l'application des articles 3.3 et 3.4 du protocole.

Schéma opérationnel simplifié du système d'inventaire

Figure 4 : Schéma opérationnel simplifié du système d'inventaire



(*) Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émission

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 :

- les substances et les formes physico-chimiques à considérer (par exemple les oxydes d'azote en équivalent NO₂, le dioxyde de carbone sous forme de CO₂ et non de C, etc.),
- les types de sources émettrices pour l'élaboration,
- les combustibles,
- les catégories de sources pour le rapport des émissions,
- la relation entre sources émettrices et catégories de sources pour le rapport des émissions,
- la nature des sources (grandes sources ponctuelles, grandes sources linéaires, grandes installations de combustion, sources mobiles, sources fixes, etc.),
- la couverture et le découpage du territoire (inclusion ou non des territoires situés outre-mer, découpage administratif ou maillé, etc.),
- les méthodes d'estimation,
- les divers paramètres utiles dans le système.

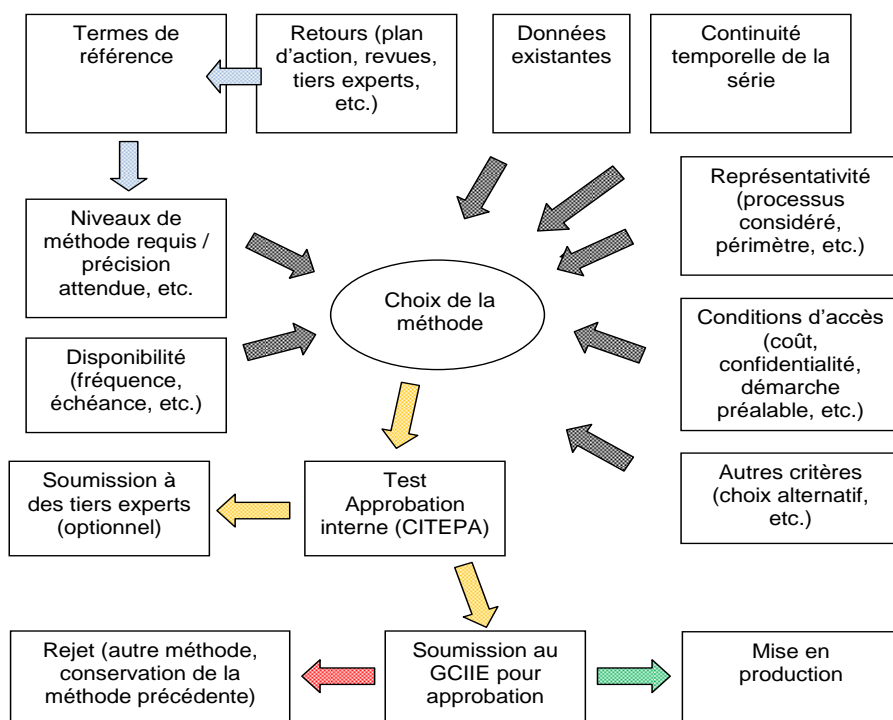
Tableau 4 : Présentation des différents référentiels utilisés

Élément	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 Format (CRF)	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
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 GCIE comme illustré dans la figure ci-après. L'approche rationnelle de ces choix est développée dans la section « rationale_COM » du présent rapport.

Figure 5 : 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 :

- statistiques publiques ou non produites par les organismes spécialisés de l'Administration ou dûment mandatés par elle. A ce titre s'attachent la plupart des principaux flux de données utilisés dans l'inventaire concernant la détermination du paramètre « activité » (consommations d'énergie, productions industrielles, recensement agricole, inventaire forestier, données socio-économiques, etc.). Le tableau suivant issu de l'arrêté du 24 août 2011 comporte nombre de postes appartenant au présent item. Au premier rang figure le bilan énergétique national désormais sous la responsabilité du ministère chargé de l'environnement. S'y ajoutent les statistiques produites par l'INSEE, des données de trafic aérien de la DGAC, etc.

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	Ministère chargé de l'environnement (CGDD)
	Consommations d'énergie dans l'industrie.	
	Consommations d'énergie dans le résidentiel et le tertiaire	et Ministère chargé de l'industrie (INSEE)
	Consommation d'énergies renouvelables dans l'industrie et le résidentiel/tertiaire	
	Bilan de la pétrochimie	
	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	Ministère chargé des transports (CGDD, DGITM, DGAC)
	Statistiques du transport aérien	
Procédés industriels	Déclarations des rejets polluants de certaines installations classées	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	Ministère chargé de l'agriculture et de la pêche (SSP), INRA
	Facteurs d'émission	
UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)	Statistiques forestières	
	Utilisation du territoire	Ministère chargé de l'agriculture (SSP)
	Récolte de bois et production de sciages	
	Accroissement et stocks forestiers en métropole	IGN
	Température/rayonnement solaire global	Réseau RenEcofor/ONF
Déchets	Inventaire des installations de traitement des déchets ménagers et assimilés	ADEME et Ministère chargé de l'environnement (DGPR)
	Statistiques déchets de soins à risques	
	Statistiques déchets industriels	
	Déclarations des rejets polluants	Ministère chargé de l'environnement (DGPR)
	Surveillance dioxines/métaux lourds des usines d'incinération	

- 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 les 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, 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'Ecologie 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 GCIE,
- 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 contrôle qualité.

1.4 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 :

- Des **exigences requises notamment par les guidelines CCNUCC et GIEC** quant aux niveaux de méthodes applicables aux catégories de sources clés. Cette exigence conduit à modifier au fil du temps certains postes de l'inventaire suite aux travaux de mise au point visant à obtenir les informations nécessaires plus appropriées par exemple.

- De la **disponibilité des données**, condition indispensable à la réelle mise en œuvre d'une méthode. Le besoin de données plus précises et spécifiques est communiqué au Ministère chargé de l'écologie et/ou aux organismes concernés en vue d'actions visant à générer les dispositions techniques, statistiques ou réglementaires requises (exemple : déclaration annuelle des rejets, données internes du Service producteur des bilans énergétiques, etc.).

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.

- Du **coût d'acquisition des données** qui peut s'avérer prohibitif au regard de l'accroissement de la précision attendu. Un exemple caractéristique est le coût des données relatives au trafic maritime de la Lloyds.

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.

- De la **pérennité des données** qui permet de faciliter la production de séries cohérentes et d'assurer la qualité requise par les termes de référence. En cas de besoin, des actions sont entreprises pour compenser à défaut de pouvoir éviter les ruptures statistiques (suppression ou modifications de champs d'enquêtes) et, dans le cas où elles surviennent néanmoins, d'étudier très attentivement le raccordement des séries.
- De la **confidentialité des informations** et notamment du respect des obligations légales. Sur ce point, la hiérarchie des obligations « internationales / nationales » reste à clarifier. Si le SNIEBA s'appuie sur de nombreuses informations définies comme confidentielles (au sens légal, contractuel ou déontologique), au niveau du rapportage, seuls quelques cas de données confidentielles restent à gérer.

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'Administrations, 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 production d'électricité, raffinage, cokeries, mines de charbon et depuis une époque relativement récente cimenterie, verrerie, 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 émissions⁵ (production, caractéristiques et consommations de combustibles, information 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

⁵ 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.

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 SEQUE (installations >20 MW) parmi les plus consommatrices d'énergie sont recensées individuellement⁶.

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.

1.4.1 Principes méthodologiques

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

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

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

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 :

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

⁶ Pour plus de précision sur la cohérence des émissions entre le SNIEBA et le SEQUE, se reporter à la section « 1_energy introduction_COM ».

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.

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

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 (SO₂, NO_x, CO, CO₂, 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.

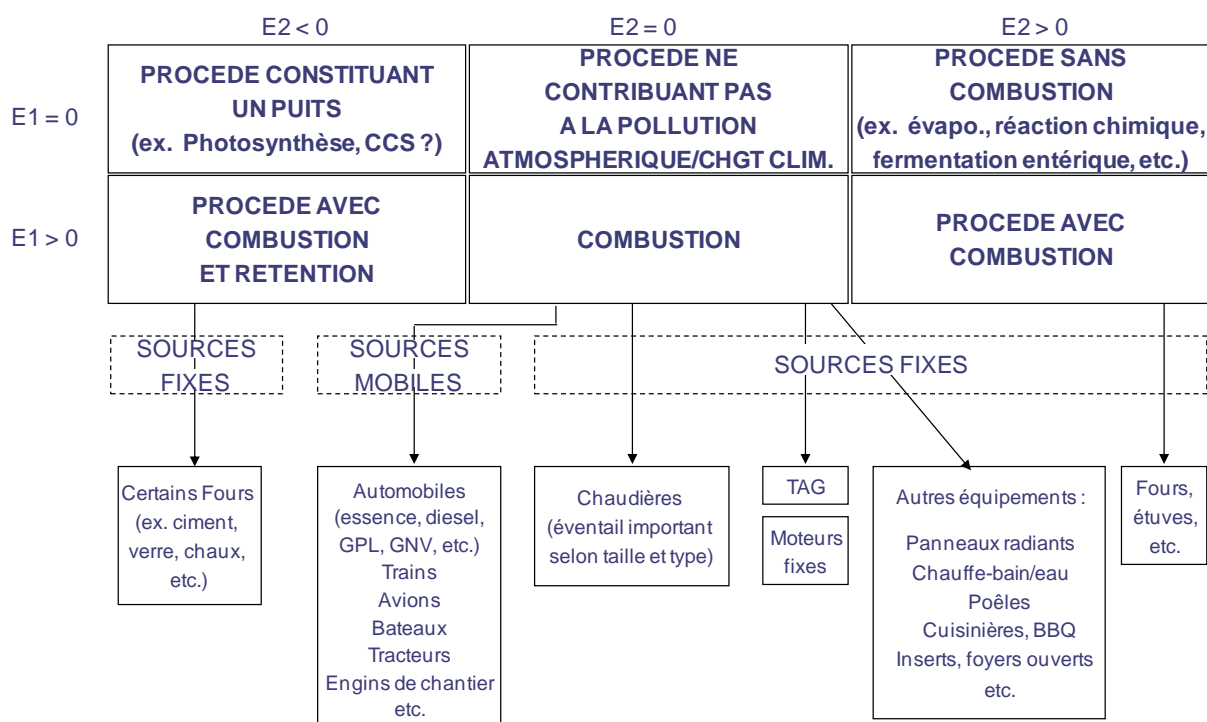
E_2 : émission liée à d'autres phénomènes se rapportant à l'emploi de matières premières, à des réactions, à des opérations diverses (évaporation, broyage, réaction chimique, etc.).

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

$E_1 = 0$ et $E_2 < 0$	procédé constituant un puits (émission négative, comme la photosynthèse pour le CO ₂).
$E_1 > 0$ et $E_2 < 0$	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 $E_2 > 0$	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.
$E_1 > 0$ 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 $E_2 > 0$	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 6 : Typologie des sources au regard de l'utilisation de l'énergie



1.4.2 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 ₂ O		HFCs		PFCs		SF ₆		Unspecified mix of HFCs and PFCs		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																
A. Fuel combustion	T1,T2,T3	CSD,MO,TH,PS	T1,T2,T3	CSD,MO,TH,PS	T1,T2,T3	CSD,MO,TH,PS	T1,T2,T3	CSD,MO,TH,PS	T1,T2,T3	CSD,MO,TH,PS	T1,T2,T3	CSD,MO,TH,PS	T1,T2,T3	CSD,MO,TH,PS	T1,T2,T3	CSD,MO,TH,PS
1. Energy industries	T2,T3	CS,PS	T2	D,OTH	T2,T3	D,PS										
2. Manufacturing industries and construction	T2,T3	CS,PS	T1,T2,T3	CS,PS	T1,T2,T3	CS,PS										
3. Transport	T1,T2,T3	CS,MO,TH	T1,T2,T3	CR,CS,DM	T1,T2,T3	CSD,MO,TH										
4. Other sectors	T1,T2	CS,D	T1,T2	CS,D	T1	D										
5. Other																
B. Fugitive emissions from fuels	T1,T2,T3	CS,D,PS	T1,T2,T3	CSD,OTH,PS	T1,T2,T3	CS,D,PS										
1. Solid fuels			T2,T3	CS,PS												
2. Oil and natural gas	T1,T2,T3	CS,D,PS	T1,T2,T3	CSD,OTH,PS	T1,T2,T3	CS,D,PS										
C. CO ₂ transport and storage																
2. Industrial processes	T1,T2,T3	CS,D,PS	T2,T3	CR,CS,D,PS	T2,T3	CS,D,PS	T1,T2,T3	CSD,OTH,PS	T2,T3	CS,D,PS	T1,T2	CS,D			T2	CS
A. Mineral industry	T1,T2,T3	CS,D,PS														
B. Chemical industry	T1,T2,T3	CS,D,PS	T2,T3	CS,D,PS	T2,T3	CS,D,PS	T3	PS								
C. Metal industry	T1,T2,T3	CS,D,PS	T2,T3	CR,CS,PS					T2,T3	CS,PS						
D. Non-energy products from fuels and solvent use	T1,T2	CS,D,PS														
E. Electronic industry							T2	CS	T2	CS	T2	CS			T2	CS
F. Product uses as ODS substitutes							T1,T2	CS,D,PS								
G. Other product manufacture and use							T2	OTH	T2	CS,D	T1,T2	CS,D				
H. Other	T2	CS														

Use the following notation keys to specify the method applied:

D (IPCC default)

RA (Reference Approach)

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)

OTH (Other)

M (model)

If using more than one method within one source 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 source category where more than one method is indicated, should be provided in the documentation box. Also use the documentation box to explain the use of notation OTH.

Use the following notation keys to specify the emission factor used:

D (IPCC default)

CR (CORINAIR)

CS (Country Specific)

PS (Plant Specific)

OTH (Other)

M (model)

Where a mix of emission factors has been used, list all the methods in the relevant cells and give further explanations in the documentation box. Also use the documentation box to explain the use of notation OTH.

Tableau 7 : Résumé des méthodologies de calculs et des facteurs d'émission employés par secteur (suite)

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		HFCs		PFCs		SF ₆		Unspecified mix of HFCs and PFCs		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
3. Agriculture																
A. Enteric fermentation	T1	D	T1,T2,T3	CS,D	T1,T2	CS,D										
B. Manure management			T2,T3	CS												
C. Rice cultivation			T1	D	T2	CS,D										
D. Agricultural soils ⁽¹⁾					T1,T2	CS,D										
E. Prescribed burning of savannas																
F. Field burning of agricultural residues																
G. Liming	T1	D	T2	D	T2	D										
H. Urea application	T1	D														
I. Other carbon-containing fertilizers																
J. Other																
4. Land use, land-use change and forestry																
A. Forest land	T1,T2,T3	CS,D	T1,T2	CR,D	T1,T2	CR,D										
B. Cropland	T1,T2	CS,D	T1,T2	CR,D	T1,T2	CR,D										
C. Grassland	T1,T2	CS,D	T1,T2	D	T1,T2	D										
D. Wetlands	T1,T2	CS,D	T1,T2	D	T1,T2	D										
E. Settlements	T1,T2	CS,D	T1,T2	D	T1,T2	D										
F. Other land																
G. Harvested wood products																
H. Other	T3	CS														
5. Waste																
A. Solid waste disposal	T1,T2	CS,D	T1,T2	CR,CS,D	T1,T2	CS,D										
B. Biological treatment of solid waste			T2	CS,D												
C. Incineration and open burning of waste			T2	CS	T2	CS										
D. Waste water treatment and discharge	T1,T2	CS,D	T1,T2	CR,D	T1,T2	CS,D										
E. Other			T1	D	T1	D										
6. Other (as specified in summary 1.A)																

Use the following notation keys to specify the method applied:

D (IPCC default)

RA (Reference Approach)

T1 (IPCC Tier 1)

T2 (IPCC Tier 2)

T3 (IPCC Tier 3)

If using more than one method within one source 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 source category where more than one method is indicated, should be provided in the documentation box. Also use the documentation box to explain the use of notation OTH.

Use the following notation keys to specify the emission factor used:

D (IPCC default)

CR (CORINAIR)

CS (Country Specific)

PS (P_{km} Specific)

OTH (Other)

M (model)

Where a mix of emission factors has been used, list all the methods in the relevant cells and give further explanations in the documentation box. Also use the documentation box to explain the use of notation OTH.

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)

OTH (Other)

M (model)

M (model)

CR (CORINAIR)

CS (Country Specific)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

OTH (Other)

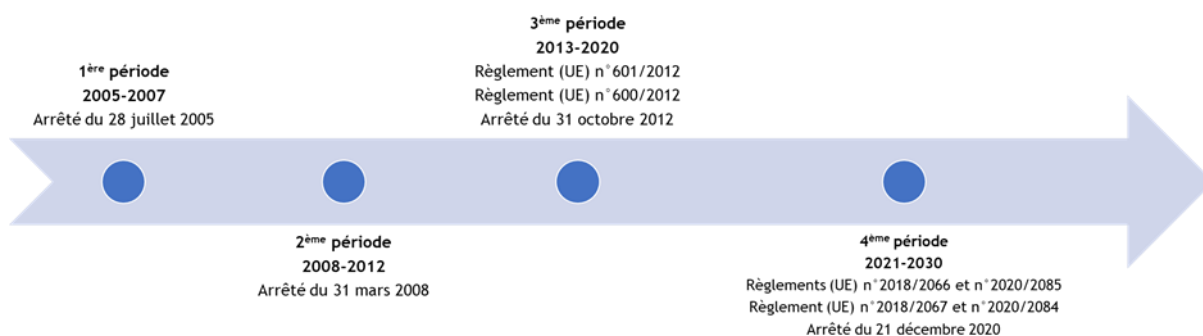
OTH (Other)

OTH (Other)

1.4.3 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. Le périmètre des activités couvertes par le SEQE reste identique entre les 3^{ème} et 4^{ème} périodes. La France compte à ce jour environ 1 100 installations soumises au SEQE. 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 CO₂, de N₂O 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 CRF ;
- 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 (CRF) 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 européen MMR (*Monitoring Mechanism Regulation, article 10 du règlement d'exécution*), dans l'Annexe V.

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.

1.5 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 CO₂ 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**⁷ permettant d'évaluer les contributions des différentes sources vis-à-vis d'engagement tels que ceux du Protocole de Kyoto,
- la seconde **avec UTCATF** pour répondre aux recommandations de la CCNUCC.

De plus, une analyse de Tier 2 avec UTCATF est conduite en complément de l'analyse Tier 1 (cf. §1.5.2 ci-dessous).

⁷ UTCATF : Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie

1.5.1 Analyse Tier 1

1.5.1.1 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 2020**. Il convient de noter que, malgré une analyse sectorielle relativement fine, les 19 premières sources représentent environ 80% du total, que les 31 premières sources représentent plus de 90 % du total, et que 44 sources forment l'ensemble des catégories clés relatives à 95 % des émissions totales hors UTCATF.

Il ressort que le CO₂ du transport routier participe à lui seul pour plus d'un quart (26,3 %) du total des émissions hors UTCATF en 2020. Le CH₄ de la fermentation entérique de l'élevage contribue à hauteur de 8,4 % des émissions totales en équivalent CO₂ ; vient ensuite le CO₂ de la combustion du gaz naturel dans le secteur résidentiel contribuant à hauteur de 6,4 %. En y ajoutant le N₂O provenant des émissions directes des sols agricoles (6,1 %) ainsi que le CO₂ de la combustion des produits pétroliers dans le secteur résidentiel (3,4 %), ces cinq entités représentent plus de la moitié (50,6% précisément) des émissions de gaz à effet de serre en France en 2020 hors UTCATF. Parmi les catégories clés (à 95 %), sur les 7 gaz à effet de serre direct, le CO₂ représente environ 71 % des émissions totales hors UTCATF avec 34 catégories sur 44.

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 CO₂ 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 2020. Le CH₄ de la fermentation entérique de l'élevage contribuait en 1990 à hauteur de 7,1 % alors que le CO₂ 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 6,9 % des émissions totales en équivalent CO₂ (16^{ème} rang en 2020, contribuant à 1,6 % du total national). En 1990, 55 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 2020 hors UTCATF**. Ce tableau montre que la plupart des catégories clés en niveau d'émissions constituent aussi les catégories clés en termes d'évolution. Cependant, la présence d'autres sources est relevée telles que :

- la baisse très importante des émissions de PFC de la production d'aluminium et de produits fluorés,
- la baisse des émissions de HFC lors de leur production, alors que leur utilisation entraîne une très forte augmentation des émissions de HFC, notamment dans les systèmes de réfrigération et climatisation (4^{ème} catégorie clé en évolution),
- la baisse des émissions de N₂O dans l'industrie chimique,
- la baisse dans plusieurs secteurs de la consommation de charbon, pour un recours plus accru au gaz naturel.

Ainsi, alors que 44 sources suffisent pour atteindre le seuil de 95% en niveaux d'émissions, il faut 58 sources pour atteindre ce même seuil pour l'analyse des évolutions des émissions.

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

- le CO₂ du transport routier (déjà au 1^{er} rang des contributeurs en émissions), pour son poids important et son évolution exceptionnellement à la baisse (contribue à hauteur de 10,4% en évolution),
- le CO₂ 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 10,3%),
- le CO₂ issu de la combustion de gaz naturel dans la production d'électricité et de chaleur, pour son poids relatif en 2020 (6^{ème} rang des contributions absolues en 2020), alors qu'il ne faisait pas partie des catégories clés en 1990 (contribution à hauteur de 6,1% en évolution),
- les HFC de la réfrigération et de la climatisation, pour leurs fortes évolutions à la hausse suite à la substitution des CFC et HCFC depuis les années 1990 (contribution en évolution de 5,4%),
- le N₂O de la production d'acide adipique, pour son poids relatif en 1990 (9^{ème} rang des catégories clés en niveau) et son évolution à la forte baisse (ne fait plus partie des catégories clés en niveau en 2020), a une contribution en évolution de 5,1%.

1.5.1.2 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 CO₂ équivalent.

Compte tenu de l'importance des émissions de l'UTCATF, 8 sous-catégories viennent s'intercaler par rapport à l'analyse des catégories clés en niveaux d'émission hors UTCATF en 2020, formant un total de 52 catégories clés (7 sous catégories en 1990 pour un total de 61 catégories clés). La catégorie 4A1 relative aux « forêts restant forêts », traduisant le bilan forestier (croissance, mortalité et récolte de bois), se place en quatrième position des catégories clés en niveau d'émission avec 5,1 % en 2020. Cette catégorie contribuait également en 1990 avec 5,1 % en niveau d'émission et se classait déjà au 4^{ème} rang. Le transport routier conserve la première place mais sa contribution augmente à 21,8 % en 2020 contre 17,8 % en 1990 hors UTCATF. Les autres catégories qui apparaissent sont des puits et/ou des sources de CO₂ ou des sources de N₂O, selon les cas, et représentent 16,3 % des émissions françaises avec les émissions UTCATF en absolu en 2020 (14,2 % en 1990).

D'autre part, 8 sous-catégories de l'UTCATF sont catégories clés en termes d'évolution de la tendance. La catégorie 4A1 des « forêts restant forêts » se place en 3^{ème} position suite à sa forte réduction depuis 1990, suivie par la catégorie 4C2 des « terres devenant prairies » qui se place en 5^{ème} position des catégories clés en termes d'évolution, suivie en 10^{ème} position par les « terres cultivées restant terres cultivées » (4B1) et en 12^{ème} position par les « produits de bois récoltés » (4G). Les autres catégories de l'UTCATF étant catégories clés, en termes d'évolution de la tendance, sont situées en 18^{ème}, 23^{ème}, 31^{ème} et 39^{ème} positions.

☞ Les résultats détaillés sont disponibles en annexe 1.

1.5.2 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 1, 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 2020. Alors que l'analyse Tier 1 a fait apparaître 52 sources formant l'ensemble des catégories clés relatives à 95 % des émissions totales avec UTCATF en 2020, la liste se réduit à 25 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 2020 est le N₂O provenant des émissions directes des sols agricoles (3Da), qui participe à 23,7 % des contributions de la pondération Tier 2. Viennent ensuite le CH₄ des installations de stockage de déchets non dangereux (5A, 14,3 %), le N₂O provenant des émissions indirectes des sols agricoles (3Db, 12,8 %) et puis le CO₂ émis par les terres converties en terres cultivées (4B2, 5,1 %). Les 3 premières catégories représentent à elles seules plus de la moitié du total des contributions Tier 2 en 2020 (50,8 % 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 2020 avec l'analyse Tier 2, alors qu'elles ne ressortaient pas dans les catégories clés Tier 1. Il s'agit par exemple du CH₄ émis par la biomasse consommée dans le résidentiel (1A4b, 0,6 %) et du N₂O émis par les combustibles liquides consommés dans l'agriculture/foresterie (1A4c, 0,6 %) respectivement au 23^{ème} et 21^{ème} rangs Tier 2, et des émissions fugitives de CH₄ dans l'extraction, la production, la distribution et le transport du gaz naturel (1B2b) qui se classe en 24^{ème} position Tier 2 (contribution de 0,5 %). De plus, le puits de CO₂ des produits bois est également une catégorie source clé Tier 2 (22^{ème} avec 0,6%) alors qu'elle ne figure pas parmi les sources clés Tier 1. À noter également que, du fait des faibles incertitudes sur les émissions de CO₂, le secteur du transport routier passe du 1^{er} rang avec l'analyse Tier 1 au 12^{ème} 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 61 sources formant l'ensemble des catégories clés relatives à 95 % des émissions totales avec UTCATF en 1990, la liste se réduit à 29 sources pour l'analyse Tier 2 portant sur les incertitudes associées aux différentes sources clés relatives à 90 %. De nouvelles catégories clés apparaissent en 1990 avec l'analyse Tier 2, alors qu'elles ne ressortaient pas dans les catégories clés Tier 1. Il s'agit par exemple du N₂O du traitement des eaux usées (5D, 0,4 %) classé au 28^{ème} rang Tier 2 ou, comme en 2020, le N₂O de la combustion de combustibles liquides dans l'agriculture/foresterie classé 23^{ème} rang Tier 2. La première catégorie clé au titre de l'analyse de Tier 2 en niveau en 1990 est, comme en 2020, le N₂O provenant des émissions directes des sols agricoles (3Da), qui participe à 23,7 % des contributions de la pondération Tier 2. Viennent ensuite le CH₄ des installations de stockage de déchets non dangereux (5A, 12,9 %) puis le N₂O provenant des émissions indirectes des sols agricoles (3Db, 12,8 %).

Concernant l'analyse des catégories clés Tier 2 au regard des **évolutions** pondérées par les incertitudes entre 1990 et 2020, celle-ci est présentée dans le dernier tableau de l'annexe 1. Alors que l'analyse Tier 1 a fait apparaître 63 sources formant l'ensemble des catégories clés relatives à 95 % de l'évolution avec UTCATF, la liste se réduit à 36 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 CO₂ des « terres cultivées restant terres cultivées » (4B1), à la première place avec une contribution de 11,2 %,
- le puits de CO₂ des produits bois (4G), à la deuxième place avec une contribution de 9,2 %,
- le puits de CO₂ des terres converties en prairies (4C2), à la troisième place avec une contribution de 9,0 %,
- le N₂O provenant des émissions directes des sols agricoles (3Da), à la quatrième place avec une contribution de 8,8 %,
- enfin, le CH₄ provenant des installations de stockage de déchets non dangereux (5A) en cinquième place avec une contribution de 8,0 %.

1.5.3 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 2020 :

Tableau 8 : 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		
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
1A4a Commercial/Institutional / coal	CO2	X	X		X	X
1A4a Commercial/Institutional / gas	CO2	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
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
1B2a Fugitive Emissions from Fuels / Oil	CO2	X	X		X	X
1B2b Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CH4	X	X	X	X	X
2A1 Cement Production	CO2	X	X	X	X	X
2A2 Lime Production	CO2	X	X		X	X
2B1 Ammonia Production	CO2	X	X		X	X
2B10 Chemical Industry / Other	CO2	X	X		X	X
2B2 Nitric Acid Production	N2O	X	X		X	X
2B3 Adipic Acid Production	N2O	X	X	X	X	X
2B4 Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production	N2O	X	X		X	X
2B9 Fluorochemical production	HFC	X	X		X	X
2B9 Fluorochemical production	PFC	X	X		X	X
2C1 Iron and Steel Production	CO2	X	X	X	X	X
2C2 Ferroalloys Production	CO2	X	X		X	X
2C3 Aluminium Production	PFC	X	X		X	X
2D3 Non-energy products from fuels and solvent use / Other	CO2	X	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
3Da Direct N2O emissions from managed soils	N2O	X	X	X	X	X
3Db Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	X	X	X	X	X
4A1 Forest Land remaining Forest Land	CH4			X		X
4A1 Forest Land remaining Forest Land	CO2		X	X		X
4A2 Land converted to Forest Land	CO2		X	X		X
4B2 Land converted to Cropland	CO2		X	X		X
4B2 Land converted to Cropland	N2O		X	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	X	X	X
5D Wastewater treatment and discharge	N2O			X		X

Tableau 9 : Résumé des sources clés en 2020 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		
1A1a Public Electricity and Heat Production / coal	CO2	X	X	X	X		X	X	X
1A1a Public Electricity and Heat Production / gas	CO2	X	X	X	X		X	X	X
1A1a Public Electricity and Heat Production / oil	CO2	X	X	X	X			X	X
1A1a Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO2	X	X	X	X		X	X	X
1A1b Petroleum Refining / gas	CO2	X	X	X	X			X	X
1A1b Petroleum Refining / oil	CO2	X	X	X	X			X	X
1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal	CO2	X	X	X	X			X	X
1A2a Iron and Steel / coal	CO2	X		X				X	X
1A2a Iron and Steel / gas	CO2	X	X	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			X	X
1A2d Pulp, Paper and Print / coal	CO2		X		X			X	X
1A2d Pulp, Paper and Print / gas	CO2	X	X	X	X			X	X
1A2d Pulp, Paper and Print / oil	CO2		X		X			X	X
1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / coal	CO2		X		X			X	X
1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO2	X	X	X	X			X	X
1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / oil	CO2		X		X			X	X
1A2f Non-metallic minerals / coal	CO2		X		X			X	X
1A2f Non-metallic minerals / gas	CO2	X	X	X	X			X	X
1A2f Non-metallic minerals / oil	CO2	X	X	X	X			X	X
1A2f Non-metallic minerals / other fossil fuels	CO2	X	X	X	X			X	X
1A2g Manufacturing Industries / Other	CO2	X	X	X	X			X	X
1A3a Domestic Aviation	CO2	X		X				X	X
1A3b Road Transportation	CH4		X		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
1A3c Railways	CO2		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	X	X
1A4a Commercial/Institutional / oil	CO2	X	X	X	X		X	X	X
1A4b Residential / biomass	CH4		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
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
1B2b Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CH4					X	X		X
1B2b Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CO2		X		X			X	X
2A1 Cement Production	CO2	X	X	X	X			X	X
2A2 Lime Production	CO2	X		X				X	X
2B1 Ammonia Production	CO2	X		X				X	X
2B10 Chemical Industry / Other	CO2	X	X	X	X			X	X
2B2 Nitric Acid Production	N2O		X		X		X	X	X
2B3 Adipic Acid Production	N2O		X		X		X	X	X
2B4 Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production	N2O		X		X			X	X
2B9 Fluorochemical production	HFC		X		X		X	X	X
2B9 Fluorochemical production	PFC		X		X			X	X
2C1 Iron and Steel Production	CO2	X	X	X	X	X	X	X	X
2C3 Aluminium Production	PFC		X		X		X	X	X
2C7 Metal Production / Other	SF6		X					X	
2F1 Refrigeration and Air Conditioning	HFC	X	X	X	X	X	X	X	X
2F4 Aerosols	HFC		X		X			X	X
3A Enteric Fermentation	CH4	X	X	X	X	X	X	X	X
3B Manure Management	CH4	X	X	X	X	X	X	X	X
3B Manure Management	N2O	X	X	X	X	X	X	X	X
3Da Direct N2O emissions from managed soils	N2O	X	X	X	X	X	X	X	X
3Db Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	X	X	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			X
4C1 Grassland remaining Grassland	CO2			X	X	X	X		X
4C2 Land converted to Grassland	CO2			X	X	X	X		X
4E Settlements	CO2			X	X	X	X		X
4G Harvested wood products	CO2					X	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	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

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 portent sur la méthode de rang 1. Les incertitudes sont déterminées pour chaque type de source en considérant les deux paramètres « activité » et « facteur d'émission ». La méthode de rang 2 avait fait l'objet d'investigations dans une étude confiée à la société SCM (Société de Calcul Mathématiques) financée par l'ADEME sur le modèle COPERT utilisé pour les émissions du trafic routier.

Cependant, comme dans la plupart des pays développés, les données d'entrée nécessaires à la mise en œuvre de la méthode de rang 2 du GIEC systématiquement à tous les secteurs et à toutes les années ne sont pas disponibles en général. L'expérience existante dans différents pays met en évidence que le gain de précision de la méthode de rang 2 est limité au regard de son rapport coût efficacité en particulier du fait que le recours à l'avis d'expert reste à ce jour la méthode la plus largement répandue, y compris lors de l'application de la méthode de rang 2. Toutefois, en vue de progresser dans l'estimation des incertitudes au moyen de méthodes de rang 2, des travaux de mise en œuvre spécifique sur certains secteurs ont été réalisés. En particulier les deux secteurs qui font l'objet d'une investigation de type Monte-Carlo pour l'inventaire de gaz à effet de serre sont l'agriculture, pour le N₂O des sols agricoles et le CH₄ des rizières, et l'UTCATF pour le CO₂. 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.

Actuellement, les estimations des incertitudes réalisées pour les inventaires couverts par le SNIEBA reposent essentiellement sur des appréciations d'experts et de bibliographie, en particulier la documentation du GIEC.

L'incertitude est ainsi 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 CO₂, l'incertitude est notablement plus élevée en ce qui concerne par exemple les puits de carbone. À 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, NH₃, etc.), la quantification de l'incertitude est plus difficile que dans le cas des émissions de CO₂, 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 (GES), une quantification est fournie dans les inventaires d'émissions pour la CCNUCC. Si l'incertitude totale en niveau d'émission est relativement importante, l'incertitude sur l'évolution des émissions dans le temps est plus faible. 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 6 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 en 2020 et son évolution par rapport à 1990. Il ressort que **l'estimation de l'incertitude sur les émissions totales exprimées en CO₂ équivalent hors UTCATF pour l'année 2020 est de +/- 11,7 % en niveau d'émission** (i.e. les émissions totales des sept gaz à effet de serre direct en 2020 sont de 393 +/- 46 Mt CO₂e hors UTCATF). Pour les émissions totales UTCATF inclus, l'incertitude sur l'année 2020 est de +/- 12,6 % en niveau d'émission pour une émission totale de 379 Mt CO₂e.

Le poids notable des émissions de N₂O de l'agriculture (près de 9 % en 2020) dans les émissions totales de CO₂e de la France (hors UTCATF), liés à la situation singulière française vis-à-vis de son

approvisionnement électrique, dominée par son parc électronucléaire non émetteur en CO₂, **explique en grande partie l'incertitude globale relativement élevée de l'inventaire national de GES**. En effet, comme le montre le tableau de l'annexe 6, **le N₂O direct des sols de l'agriculture (3Da) affiche une incertitude représentant 8,9 % 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 CH₄ des décharges (5A, 5,3 % des émissions totales), le N₂O indirect des sols de l'agriculture (3Db, 4,8 % des émissions totales), le CH₄ de la fermentation entérique (3A, 1,3 % des émissions totales), la consommation de HFC (2F, 0,8 % des émissions totales), le CO₂ du transport (1A3, 0,9 % des émissions totales) et le N₂O de la gestion des effluents (3B, 0,9 % 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 6 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 CO₂ équivalent hors UTCATF est de +/- 9,6 % en niveau d'émission** (i.e. les émissions totales hors UTCATF des sept gaz à effet de serre direct en 1990 sont de 544 +/- 52 Mt CO₂e). Pour les émissions totales UTCATF inclus, l'incertitude sur l'année 1990 est de +/- 10,4 % en niveau d'émission pour des émissions totales de 520 Mt CO₂e. Comme pour 2020, **le N₂O direct des sols de l'agriculture (3Da) affiche l'incertitude la plus importante, représentant 7,5 % 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 2020, le CH₄ des décharges (5A, 4,1 % des émissions totales), le N₂O indirect des sols de l'agriculture (3Db, 4,0 % des émissions totales) et le CH₄ de la fermentation entérique (3A, 1,1 % des émissions totales). La consommation des HFC n'apparaît pas contrairement à 2020 car ils n'étaient pas encore utilisés en 1990 et ne sont apparus que quelques années plus tard en remplacement des CFC et HCFC.

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 hors UTCATF entre l'année de référence 1990 et 2020 de +/- 1,9 % des émissions totales 1990 hors UTCATF**, pour une évolution des émissions de -27,8 %. Pour les émissions avec UTCATF, l'évolution des émissions totales exprimées en CO₂ équivalent en 2020 est de -27,1 % des émissions de 1990 et l'incertitude sur la différence entre 2020 et 1990 est de +/- 2,1 % des émissions de 1990.

1.7 Exhaustivité des inventaires

Couverture temporelle :

Les inventaires rapportés dans le cadre de la CCNUCC et du Protocole de Kyoto dans le présent rapport couvrent la période 1990-2020 avec un pas annuel. L'année de référence est 1990 pour toutes les substances.

Couverture géographique (cf. figure 7) :

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

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

Périmètre du Protocole de Kyoto : par rapport à la Convention, le périmètre pris en compte n’est constitué que du territoire 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.

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


Source CITEPA/format CCNUCC - mars 2020

	Catégorie		Inventaires							Statuts.xlsx
	Statut "français"	Périmètre inclus / non inclus dans l'UE	CEE-NU	NEC	CCNUCC	CCNUCC Kyoto	GIC	SEOE		
96 départements sur le continent européen	Départements métropolitains	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	inclus								
Saint Barthélemy	Collectivités d'Outre-mer (depuis mi-2007)	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 <i>sui generis</i>	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 « Kyoto » (le dernier en date) est appliqué depuis 1990 (avec Mayotte sur toute la série temporelle).

Tableau 11 : Paramètres socio-économiques de la France

CITEPA/format CCNUCC - mars 2022

UNFCCC-Para-socio.xlsx

		Superficie	Population (milliers)			PIB (millions € courants)		
		(km ²)	1990	2020	Evolution (%) 2020/1990	1990	2020	Evolution (%) 2020/1990
METROPOLE		549 188	56 709	65 180	15%	1 043 026	2 258 636	117%
Territoires Outre-mer inclus dans l'UE	Guadeloupe	1 628	352	380	7,9%	1 834	8 801	380%
	Saint-Martin	56	29	39	36%	356	568	59%
	Martinique	1 090	358	360	0,4%	2 945	8 987	205%
	Guyane	83 729	113	288	154%	995	4 351	337%
	Réunion	2 512	598	857	43%	4 326	19 100	342%
	Mayotte	375	89	279	214%	64	2 417	3696%
	TOTAL OM UE	89 390	1 539	2 202	43%	10 520	44 224	320%
PERIMETRE KYOTO		638 578	58 248	67 382	16%	1 053 546	2 302 860	119%
Territoires Outre-mer non inclus dans l'UE	Nouvelle Calédonie	18 576	169	272	61%	2 099	8 145	288%
	Polynésie Française	3 520	194	278	43%	2 639	5 087	93%
	Wallis et Futuna	142	14	11	-18%	198	106	-46%
	St-Pierre et Miquelon	242	6,3	6,2	-1,1%	135	285	112%
	Saint-Barthélemy	21	5,3	10,4	95%	127	400	214%
	TOTAL OM hors UE	22 501	388	578	49%	5 197	14 024	170%
TOTAL FRANCE		661 079	58 636	67 960	16%	1 058 743	2 316 884	119%

Il en ressort que la Métropole représente 83,1% de la superficie totale de la France, avec 95,9 % de la population et 97,5 % du PIB en 2020. Cependant, l'évolution relative à la hausse à la fois de la population et du PIB est légèrement plus forte en Outre-mer qu'en Métropole de 1990 à 2020.

Substances inventoriées :

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

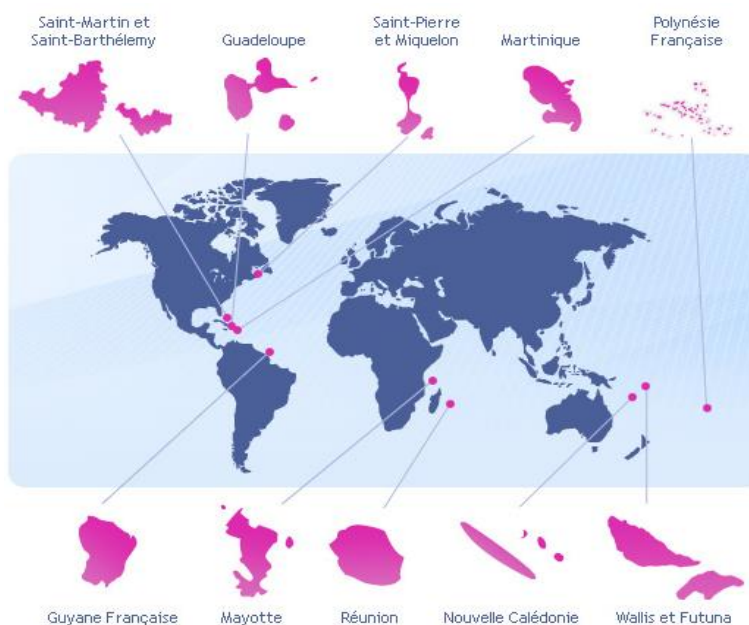
- CO₂,
- CH₄,
- N₂O,
- HFC (HFC-23, HFC-32, HFC-4310mee, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-227ea, HFC-365mfc, HFC-245fa),
- PFC (PFC-14, PFC-116, C₃F₈, C₄F₈, C₄F₁₀, C₅F₁₂, C₆F₁₄, C₁₀F₁₈),
- SF₆,
- NF₃,
- Les gaz à effet de serre indirect (SO₂, CO, NO_x et COVM).

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

France métropolitaine



Territoires d'Outre-mer



Couverture des sources émettrices :

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

- l'autoproduction d'électricité est comptabilisée dans le secteur producteur comme par exemple l'industrie, le chauffage urbain, etc. (spécification GIEC),
- les émissions de COVNM par évaporation dans le cas des véhicules routiers figurent dans la rubrique "transports routiers" de la catégorie "combustion" (spécification CCNUCC),
- la définition du trafic maritime international prise en compte est identique à celle retenue par la Commission Économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-NU). De ce fait, la majeure partie des soutes relatives aux ventes françaises n'est pas comptabilisée dans le champ couvert par les émissions nationales. Cette partie correspond à environ 3,2 Mt CO₂e

en 2020 et 8,0 Mt CO₂e en 1990 pour la France au périmètre Kyoto. La partie non comptabilisée dans le total national est rapportée hors total (spécification CCNUCC),

- le trafic aérien domestique, y compris les vols Métropole - Territoires d'Outre-mer, est inclus dans le total national, tandis que la part relative au trafic aérien international est rapportée séparément selon les spécifications CCNUCC (les quantités correspondantes passent de près de 8,9 Mt CO₂e en 1990 à 8,1 Mt CO₂e en 2020 pour la France au périmètre Kyoto, niveau relativement bas dû à la crise sanitaire),
- 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.

Périmètre du Protocole de Kyoto : en application de l'article 3 paragraphe 7, seules les sources occasionnant des émissions nettes de gaz à effet de serre en 1990 sont comptabilisées. Ainsi l'UTCATF représentant un bilan puits de CO₂, ces émissions ne sont pas prises en compte dans les totaux relatifs au Protocole. Cependant, en vertu des articles 3.3. et 3.4, une comptabilité à part est mise en œuvre pour les activités.

Particularités

Selon les règles en vigueur, les émissions de CO₂ 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 CO₂ liées à la destruction thermique ou par dégradation aérobie de cette biomasse sont exclues ;
- *pour la biomasse ligneuse (bois et dérivés)* : les émissions de CO₂ issues de cette biomasse sont comptabilisées dans la catégorie 4 du CRF relative à l'UTCATF, partie récolte forestière. L'utilisation en tant que combustible est rappelée pour mémoire dans la catégorie 1 du CRF relative à l'énergie mais exclue des totaux du secteur de l'énergie ;
- *pour les déchets* : les émissions de CO₂ d'origine organique lors du traitement des déchets ne sont pas retenues : seule la part inorganique est conservée, et le CO₂ 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 CRF. Il est à noter que les secteurs CRF 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 CH₄ et de N₂O issues de la crémation).

Tableau 12 : Liste des sources couvertes par la notation « NE » en 2020

Sources and sinks not estimated ("NE") ⁽¹⁾			
GHG	Sector ⁽²⁾	Source/sink category ⁽²⁾	Explanation
CH4	Agriculture	3.1 Livestock/3.A Enteric Fermentation/3.A.4 Other livestock/Other (please specify)/Rabbit	Emissions due to enteric fermentation from rabbits are very low. IPCC guidelines do not provide any emission factor for this category of livestock.
CH4	Agriculture	3.1 Livestock/3.A Enteric Fermentation/3.A.4 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.
CH4	Energy	1.D Memo Items/1.D.2 Multilateral Operations	Guiana. Only CO2 emissions are estimated for this activity.
CH4	Industrial Processes and Product Use	2.D Non-energy Products from Fuels and Solvent Use/2.D.3 Other (please specify)/Asphalt roofing	Only COVNM, CO and particulate matter are estimated for asphalt roofing
CH4	Waste	5.B Biological Treatment of Solid Waste/5.B.2 Anaerobic Digestion at Biogas Facilities/5.B.2.a Municipal Solid Waste	Amount of CH4 flared and Amount of CH4 for energy recovery are not necessary for the calculation
CH4	Waste	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Other (please specify)/Cremation	This emission is not estimated due to the lack of emission factor in the IPCC.
CO2	Industrial Processes and Product Use	2.D Non-energy Products from Fuels and Solvent Use/2.D.3 Other (please specify)/Asphalt roofing	Only COVNM, CO and particulate matter are estimated for asphalt roofing
CO2	Waste	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Other (please specify)/Cremation	Biogenic CO2 emissions are not estimated for waste incineration
CO2	Waste	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Sewage Sludge	Sewage Sludge are considered as 100% biomass : No CO2 EF available
N2O	Energy	1.D Memo Items/1.D.2 Multilateral Operations	Guiana. Only CO2 emissions are estimated for this activity.
N2O	Industrial Processes and Product Use	2.D Non-energy Products from Fuels and Solvent Use/2.D.3 Other (please specify)/Asphalt roofing	Only COVNM, CO and particulate matter are estimated for asphalt roofing
N2O	LULUCF	4.A Forest Land 4.A Forest Land/4.A.1 Forest Land Remaining Forest Land/4(III) Direct N2O Emissions from N Mineralization/Immobilization	N2O emissions linked with mineralisation are currently only estimated for land conversions
N2O	LULUCF	4.C Grassland 4.C Grassland/4.C.1 Grassland Remaining Grassland/4(III) Direct N2O Emissions from N Mineralization/Immobilization	N2O emissions linked with mineralisation are currently only estimated for land conversions
N2O	LULUCF	4.D Wetlands/4.D.1 Wetlands Remaining Wetlands/4(III) Direct N2O Emissions from N Mineralization/Immobilization	N2O emissions linked with mineralisation are currently only estimated for land conversions
N2O	LULUCF	4.D Wetlands	N2O emissions linked with mineralisation are currently only estimated for land conversions
N2O	LULUCF	4.D Wetlands/4.D.2 Land Converted to Wetlands/4(III) Direct N2O Emissions from N Mineralization/Immobilization	N2O emissions linked with mineralisation are currently only estimated for land conversions
N2O	LULUCF	4.E Settlements 4.E Settlements/4.E.1 Settlements Remaining Settlements/4(III) Direct N2O Emissions from N Mineralization/Immobilization	N2O emissions linked with mineralisation are currently only estimated for land conversions
N2O	LULUCF	4.F Other Land/4(III) Direct N2O Emissions from N Mineralization/Immobilization	N2O emissions linked with mineralisation are currently only estimated for land conversions
N2O	LULUCF	4.F Other Land	N2O emissions linked with mineralisation are currently only estimated for land conversions
N2O	Waste	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Other (please specify)/Cremation	This emission is not estimated due to the lack of emission factor in the IPCC.
no gas	LULUCF	4.D Wetlands/4.D.1 Wetlands Remaining Wetlands/Carbon stock change/4.D.1.1 Peat Extraction Remaining Peat Extraction	The pool is supposed negligible or in equilibrium (tier 1)
no gas	LULUCF	4.D Wetlands/4.D.2 Land Converted to Wetlands/Carbon stock change/4.D.2.1 Land Converted for Peat Extraction	The pool is supposed negligible or in equilibrium (tier 1)
no gas	LULUCF	4.D Wetlands/4.D.2 Land Converted to Wetlands/Carbon stock change/4.D.2.2 Land Converted to Flooded Land	The pool is supposed negligible or in equilibrium (tier 1)
no gas	LULUCF	4.D Wetlands/4.D.2 Land Converted to Wetlands/Carbon stock change/4.D.2.3 Land Converted to Other Wetlands	The pool is supposed negligible or in equilibrium (tier 1)

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.

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Tableau 13 : Liste des sources couvertes par la notation « IE » en 2020

Sources and sinks reported elsewhere ("IE") ⁽³⁾				
GHG	Source/sink category	Allocation as per IPCC Guidelines	Allocation used by the Party	Explanation
C10F18	2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid 2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid/C10F18	2.E.4	2.G.2.Solvents medicals and other use of PFC	PFC emissions cannot be split between different uses (heat transfer use, etc.)
C2F6	2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid 2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid/C2F6	2.E.4	2.G.2.Solvents medicals and other use of PFC	PFC emissions cannot be split between different uses (heat transfer use, etc.)
C3F8	2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid 2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid/C3F8	2.E.4	2.G.2.Solvents medicals and other use of PFC	PFC emissions cannot be split between different uses (heat transfer use, etc.)
C4F10	2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid/C4F10 2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid	2.E.4	2.G.2.Solvents medicals and other use of PFC	PFC emissions cannot be split between different uses (heat transfer use, etc.)
C5F12	2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid 2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid/C5F12	2.E.4	2.G.2.Solvents medicals and other use of PFC	PFC emissions cannot be split between different uses (heat transfer use, etc.)
C6F14	2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid 2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid/C6F14	2.E.4	2.G.2.Solvents medicals and other use of PFC	PFC emissions cannot be split between different uses (heat transfer use, etc.)
CF4	2.E Electronics Industry/2.E.3 Photovoltaics 2.E Electronics Industry/2.E.3 Photovoltaics/CF4	2.E.3	2.E.1	Emissions are aggregated to respect confidentiality
CF4	2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid 2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid/CF4	2.E.4	2.G.2.Solvents medicals and other use of PFC	PFC emissions cannot be split between different uses (heat transfer use, etc.)
CH4	1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.3 Transport/1.A.3.c Railways 1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.3 Transport/1.A.3.c Railways/Solid Fuels		1.A.4.A	Emissions from Railways are included in 1.A.4.A
CH4	1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.3 Transport/1.A.3.e Other Transportation (please specify)/1.A.3.e.ii 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
CH4	1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.5 Other (Not specified elsewhere)/1.A.5.b Mobile (please specify)/Other not specified/Liquid Fuels 1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.5 Other (Not specified elsewhere)/1.A.5.b Mobile (please specify)/Other not specified	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
CH4	1.B Fugitive Emissions from Fuels/1.B.2 Oil and Natural Gas and Other Emissions from Energy Production/1.B.2.b Natural Gas/1.B.2.b.2 Production	1.B.2.b.2 production	1.B.2.b.2 processing	Production and processing cannot be split and are entirely reported under processing
CH4	1.B Fugitive Emissions from Fuels/1.B.2 Oil and Natural Gas and Other Emissions from Energy Production/1.B.2.c Venting and Flaring/1.B.2.c.1 Venting/1.B.2.c.1.ii Gas	1.B.2.c.1.ii	1.B.2.c.2.ii	Venting emissions are not separately reported by the plant, included within Flaring emission reporting.
CH4	2.B Chemical Industry/2.B.8 Petrochemical and Carbon Black Production/2.B.8.b Ethylene	2.B.8.b	2.B.10	Emissions from ethylene, ethylene dichloride and propylene are estimated together and cannot be reported separately.
CH4	2.B Chemical Industry/2.B.8 Petrochemical and Carbon Black Production/2.B.8.c Ethylene Dichloride and Vinyl Chloride Monomer	2.B.8.c	2.B.10	Emissions from ethylene, ethylene dichloride and propylene are estimated together and cannot be reported separately.
CH4	2.C Metal Industry/2.C.1 Iron and Steel Production/2.C.1.d Sinter	2.C.1.d	2.C.1.a	Emissions from process and energy consumption are merged in 2.C.1.a
CH4	4.D Wetlands/4(II) Emissions and removals from drainage and rewetting and other management of organic and mineral soils/Flooded Lands/Total Mineral Soils/Rewetted Mineral Soils	4(II)	4.H	Emissions from the reservoir of Petit-Saut are included in 4.H
CH4	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Clinical Waste	5.C.1.1.b.3	5.C.1.1.b.5	Clinical Waste are considered as 100% fossile
CH4	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Hazardous Waste	5.C.1.1.b.2	5.C.1.1.b.5	Hazardous Waste are considered as 100% fossile
CH4	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Industrial Solid Wastes	5.C.1.1.b.1	5.C.1.1.a	Non dangerous industrial solid waste are reported with municipal solid waste
CH4	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.2 Non-biogenic/5.C.1.2.b Other (please specify)/Fossil liquid waste	5.C.1.2.b.4	5.C.1.2.b.2	Fossil liquid waste are reported with hazardous wastes
CH4	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.2 Non-biogenic/5.C.1.2.b Other (please specify)/Industrial Solid Wastes	5.C.1.2.b.1	5.C.1.2.a	Non dangerous industrial solid waste are reported with municipal solid waste
CO2	1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.3 Transport/1.A.3.c Railways 1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.3 Transport/1.A.3.c Railways/Solid Fuels		1.A.4.A	Emissions from Railways are included in 1.A.4.A
CO2	1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.3 Transport/1.A.3.e Other Transportation (please specify)/1.A.3.e.ii 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
CO2	1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.5 Other (Not specified elsewhere)/1.A.5.b Mobile (please specify)/Other not specified/Liquid Fuels 1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.5 Other (Not specified elsewhere)/1.A.5.b Mobile (please specify)/Other not specified	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
CO2	1.B Fugitive Emissions from Fuels/1.B.2 Oil and Natural Gas and Other Emissions from Energy Production/1.B.2.b Natural Gas/1.B.2.b.2 Production	1.B.2.b.2 production	1.B.2.b.2 processing	Production and processing cannot be split and are entirely reported under processing
CO2	1.B Fugitive Emissions from Fuels/1.B.2 Oil and Natural Gas and Other Emissions from Energy Production/1.B.2.c Venting and Flaring/1.B.2.c.1 Venting/1.B.2.c.1.ii Gas	1.B.2.c.1.ii	1.B.2.c.2.ii	Venting emissions are not separately reported by the plant, included within Flaring emission reporting.

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

CO2	2.B Chemical Industry/2.B.8 Petrochemical and Carbon Black Production/2.B.8.b Ethylene	2.B.8.b	2.B.10	Emissions from ethylene, ethylene dichloride and propylene are estimated together and cannot be reported separately.
CO2	2.B Chemical Industry/2.B.8 Petrochemical and Carbon Black Production/2.B.8.c Ethylene Dichloride and Vinyl Chloride Monomer	2.B.8.c	2.B.10	Emissions from ethylene, ethylene dichloride and propylene are estimated together and cannot be reported separately.
CO2	2.C Metal Industry/2.C.1 Iron and Steel Production/2.C.1.d Sinter	2.C.1.d	2.C.1.a and 2.A.4.d	Emissions from process and energy consumption are merged in 2.C.1.a / CO2 emissions from castine use are reported under 2.A.4.d
CO2	2.C Metal Industry/2.C.4 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.
CO2	2.H Other (please specify)/2.H.2 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 CRF code
CO2		Table 6	Tables 4	Indirect CO2 from LULUCF is included with direct CO2 in LULUCF tables
CO2	4.A Forest Land/4.A.1 Forest Land Remaining Forest Land/4(V) Biomass Burning/Controlled Burning	4(V).A.1	4.A.1	CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change
CO2	4.A Forest Land/4.A.2 Land Converted to Forest Land/4(V) Biomass Burning/Controlled Burning	4(V).A.2	4.A.2	CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change
CO2	4.B Cropland/4.B.1 Cropland Remaining Cropland/4(V) Biomass Burning/Controlled Burning	4(V).B.1	4.B.1	CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change
CO2	4.B Cropland/4.B.2 Land Converted to Cropland/4(V) Biomass Burning/Controlled Burning	4(V).B.2	4.B.2	CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change
CO2	4.C Grassland/4.C.1 Grassland Remaining Grassland/4(V) Biomass Burning/Controlled Burning	4(V).C.1	4.C.1	CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change
CO2	4.C Grassland/4.C.2 Land Converted to Grassland/4(V) Biomass Burning/Controlled Burning	4(V).C.2	4.C.2	CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change
CO2	4.D Wetlands/4(II) Emissions and removals from drainage and rewetting and other management of organic and mineral soils/Flooded Lands/Total Mineral Soils/Rewetted Mineral Soils	4(II)	4.H	Emissions from the reservoir of Petit-Saut are included in 4.H
CO2	4.D Wetlands/4.D.1 Wetlands Remaining Wetlands/4(V) Biomass Burning/Controlled Burning	4(V).D.1	4.D.1	CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change
CO2	4.D Wetlands/4.D.2 Land Converted to Wetlands/4(V) Biomass Burning/Controlled Burning	4(V).D.2	4.D.2	CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change
CO2	4.E Settlements/4(V) Biomass Burning 4.E Settlements	4(V).E.2	4.E.2	CO2 emissions from controlled burning are included in the carbon stock change
CO2	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Clinical Waste	5.C.1.1.b.3	5.C.1.1.b.5	Clinical Waste are considered as 100% fossile
CO2	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Hazardous Waste	5.C.1.1.b.2	5.C.1.1.b.5	Hazardous Waste are considered as 100% fossile
CO2	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Industrial Solid Wastes	5.C.1.1.b.1	5.C.1.1.b.5	Reported with municipal solid waste
CO2	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.2 Non-biogenic/5.C.1.2.b Other (please specify)/Fossil liquid waste	5.C.1.2.b.4	5.C.1.2.b.2	Fossil liquid waste and industrial solid waste are reported with hazardous wastes
CO2	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.2 Non-biogenic/5.C.1.2.b Other (please specify)/Industrial Solid Wastes	5.C.1.2.b.1	5.C.1.2.b.2	Fossil liquid waste and industrial solid waste are reported with hazardous wastes
HFC-134a	2.B Chemical Industry/2.B.9 Fluorochemical Production/2.B.9.b Fugitive Emissions/2.B.9.b.1 Production of HFC-134a 2.B Chemical Industry/2.B.9 Fluorochemical Production/2.B.9.b Fugitive Emissions/2.B.9.b.1 Production of HFC-134a/HFC-134a	2.B.9.b.1	2.B.9.b.3	Emissions from 2.B.9.b.1 are included in 2.B.9.b.3
HFC-134a	2.F Product Uses as Substitutes for ODS/2.F.6 Other Applications/2.F.6.a Emissive/HFC-134a	2.F.6 Emissive (from manufacture)	2.F.Solvents (from stocks)	Emissions are aggregated to respect confidentiality (1 site)

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

N2O	1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.3 Transport/1.A.3.c Railways 1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.3 Transport/1.A.3.c Railways/Solid Fuels			1.A.4.A	Emissions from Railways are included in 1.A.4.A
N2O	1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.3 Transport/1.A.3.e Other Transportation (please specify)/1.A.3.e.ii 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 availab
N2O	1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.5 Other (Not specified elsewhere)/1.A.5.b Mobile (please specify)/Other not specified/Liquid Fuels 1.AA Fuel Combustion - Sectoral approach/1.A.5 Other (Not specified elsewhere)/1.A.5.b Mobile (please specify)/Other not specified	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
N2O	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Clinical Waste	5.C.1.1.b.3		5.C.1.1.b.5	Clinical, hazardous and industrial solid waste are reported together under the category other
N2O	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Hazardous Waste	5.C.1.1.b.2		5.C.1.1.b.5	Clinical, hazardous and industrial solid waste are reported together under the category other
N2O	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.1 Biogenic/5.C.1.1.b Other (please specify)/Industrial Solid Wastes	5.C.1.1.b.1		5.C.1.1.b.5	Clinical, hazardous and industrial solid waste are reported together under the category other
N2O	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.2 Non-biogenic/5.C.1.2.b Other (please specify)/Fossil liquid waste	5.C.1.2.b.4		5.C.1.2.b.2	Fossil liquid waste and industrial solid waste are reported with hazardous wastes
N2O	5.C Incineration and Open Burning of Waste/5.C.1 Waste Incineration/5.C.1.2 Non-biogenic/5.C.1.2.b Other (please specify)/Industrial Solid Wastes	5.C.1.2.b.1		5.C.1.2.b.2	Non dangerous industrial waste are reported with MSW
SF6	2.C Metal Industry/2.C.4 Magnesium Production/SF6 2.C Metal Industry/2.C.4 Magnesium Production	2.C.4		2.C.7	The emissions of sulfur hexafluoride (SF6) from Magnesium production are included elsewhere (2C7 instead of 2C4) from 1990 to 20XX. Emissions are aggregated to respect confidentiality.
Unspecified mix of HFCs	2.C Metal Industry/2.C.4 Magnesium Production 2.C Metal Industry/2.C.4 Magnesium Production/Unspecified mix of HFCs	2.C.4		2.F.5.b	The emissions of hydrofluorocarbons (HFCs) from Magnesium production are included elsewhere (2F5b instead of 2C4) from 1990 to 20XX. Emissions are aggregated to respect confidentiality.
Unspecified mix of PFCs	2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid 2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid/Unspecified mix of PFCs	2.E.4		2.G.2.Solvents medicals and other use of PFC	PFC emissions cannot be split between different uses (heat transfer use, etc.)
c-C3F6	2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid 2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid/c-C3F6	2.E.4		2.G.2.Solvents medicals and other use of PFC	PFC emissions cannot be split between different uses (heat transfer use, etc.)
c-C4F8	2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid 2.E Electronics Industry/2.E.4 Heat Transfer Fluid/c-C4F8	2.E.4		2.G.2.Solvents medicals and other use of PFC	PFC emissions cannot be split between different uses (heat transfer use, etc.)
no gas	4.B Cropland 4.B Cropland/4.B.1 Cropland Remaining Cropland/Carbon stock change	4.B.1		4(II).B.1	CO2 and CH4 emissions are reported under table 4(II)
no gas	4.C Grassland 4.C Grassland/4.C.1 Grassland Remaining Grassland/Carbon stock change	4.B.2		4(II).B.2	CO2 and CH4 emissions are reported under table 4(II)

(1) Clearly indicate sources and sinks which are considered in the 2006 IPCC Guidelines but are not considered in the submitted inventory. Explain the reason for not reporting these sources and

(2) Indicate omitted source/sink category

(3) Clearly indicate sources and sinks in the submitted inventory that are allocated to a sector other than that indicated by the 2006 IPCC Guidelines. Show the sector indicated in the 2006 IPCC

2 EVOLUTION DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

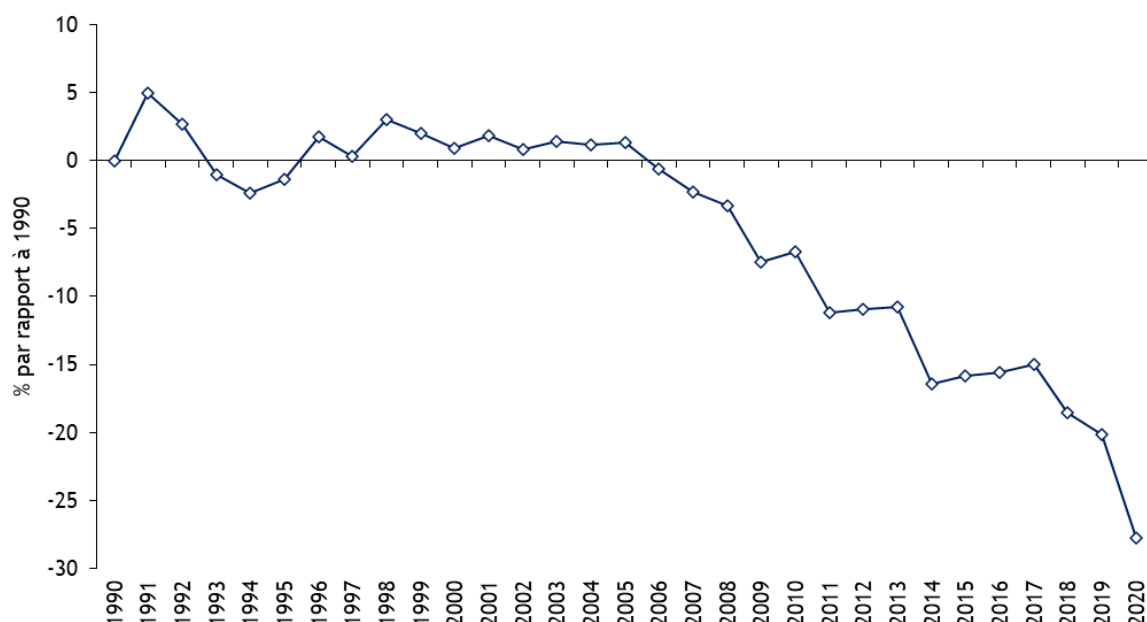
2.1 Évolution globale des émissions de gaz à effet de serre

☞ cf. annexe 7 : CRF 1990, 2019 et 2020 pour des résultats résumés, les autres années sont disponibles sur les fichiers informatiques

2.1.1 Évolution en France - périmètre Kyoto

Les variations des rejets des sept gaz à effet de serre se traduisent globalement par une baisse de 27,8 % des émissions (hors UTCATF) en 2020 comparé au niveau de 1990. Les émissions totales exprimées en CO₂ équivalent, UTCATF inclus, sont en baisse de 27,1 % de 1990 à 2020. Une réduction encore plus notable est observée lorsque les émissions totales, UTCATF inclus, sont rapportées à la population (-37 %) ou au Produit Intérieur Brut (-65 %). 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 (-9,6 % d'émissions entre 2020 et 2019 hors UTCATF).

Figure 8 : Variations des émissions totales hors UTCATF au cours de la période 1990-2020 en France (Périmètre Kyoto)



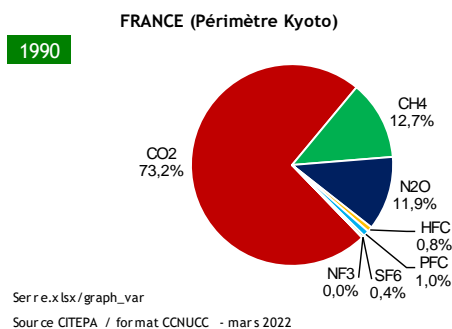
Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

Serre.xlsx/graph_var

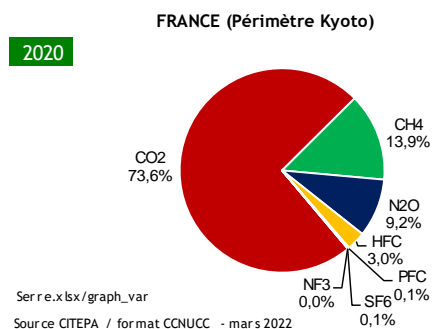
Les évolutions respectives des différents gaz à effet de serre conduisent aux contributions suivantes (hors UTCATF) en France pour les années 1990 et 2020 :

Figure 9 : Contribution des différents gaz à effet de serre aux émissions totales hors UTCATF en 1990 et 2020 pour la France (périmètre Kyoto)

CONTRIBUTION DES DIFFERENTS GAZ A EFFET DE SERRE
AUX EMISSIONS TOTALES HORS UTCATF EN 1990



CONTRIBUTION DES DIFFERENTS GAZ A EFFET DE SERRE
AUX EMISSIONS TOTALES HORS UTCATF EN 2020



La contribution du CO₂ aux émissions totales hors UTCATF en relatif a augmenté légèrement de 1990 à 2020 tout comme celle des HFC qui a, elle, connu une croissance bien plus importante, alors que, pour tous les autres gaz à effet de serre, celle-ci diminue. En 2020, le CO₂ participe à hauteur de 73,6 % aux émissions totales hors UTCATF devant le CH₄ avec 13,9 %, puis le N₂O avec 9,2 %. Les HFC, PFC, SF₆, et NF₃ occupent respectivement les dernières positions avec une contribution totale d'environ 3,2 %.

Le tableau suivant synthétise les évolutions des émissions de l'ensemble des gaz couverts par le Protocole de Kyoto.

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Tableau 14 : Émissions de gaz à effet de serre en France (Périmètre Kyoto)

EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE (Périmètre Kyoto^(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 2022

serre/recap_Kyoto.xlsx

Substance	Unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2020/90	Ecart (%)
Gaz à effet de serre direct																		
CO ₂ (direct et indirect)	Mt	398	393	415	425	387	365	367	369	337	342	345	348	333	327	289	-27%	
Hors UTCATF	Mt équ. C ^(a)	109	107	113	116	106	99	100	101	92	93	94	95	91	89	79	-27%	
CO ₂ (direct et indirect)	Mt	370	361	390	374	344	322	322	320	295	303	315	327	315	310	271	-27%	
net ^(b)	Mt équ. C ^(a)	101	98	106	102	94	88	88	87	80	83	86	89	86	85	74	-27%	
CH ₄	kt	2 766	2 815	2 744	2 545	2 467	2 419	2 370	2 363	2 351	2 314	2 297	2 280	2 250	2 230	2 186	-21%	
Hors UTCATF	Mt CO ₂ e	69	70	69	64	62	60	59	59	59	58	57	57	56	56	55	-21%	
	Mt équ. C ^(a)	19	19	19	17	17	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15	-21%	
CH ₄	kt	2 804	2 962	2 812	2 593	2 512	2 463	2 413	2 405	2 395	2 358	2 341	2 325	2 294	2 275	2 230	-20%	
net ^(b)	Mt CO ₂ e	70	74	70	65	63	62	60	60	60	59	59	58	57	57	56	-20%	
	Mt équ. C ^(a)	19	20	19	18	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	15	-20%	
N ₂ O	kt	217	221	180	155	136	130	131	131	134	134	130	135	129	128	122	-44%	
Hors UTCATF	Mt CO ₂ e	65	66	54	46	40	39	39	39	40	40	39	40	39	38	36	-44%	
	Mt équ. C ^(a)	18	18	15	13	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	-44%	
N ₂ O	kt	228	232	191	165	147	141	142	141	144	144	140	145	139	137	131	-42%	
net ^(b)	Mt CO ₂ e	68	69	57	49	44	42	42	42	43	43	42	43	41	41	39	-42%	
	Mt équ. C ^(a)	19	19	16	13	12	11	12	11	12	12	11	12	11	11	11	-42%	
HFC	t	659	803	3 328	6 202	8 163	8 563	8 690	8 602	8 588	8 528	8 438	8 236	7 435	6 497	5 971	807%	
	Mt CO ₂ e	4,4	1,7	6,7	12,9	16,9	17,6	17,9	17,8	17,7	17,5	17,2	16,6	14,8	13,0	11,7	167%	
	Mt équ. C ^(a)	1,2	0,5	1,8	3,5	4,6	4,8	4,9	4,8	4,8	4,8	4,7	4,5	4,0	3,5	3,2	167%	
PFC	t	588	357	346	204	68	86	87	74	68	59	74	77	75	68	60	-90%	
	Mt CO ₂ e	5,2	3,1	3,0	1,8	0,6	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	-90%	
	Mt équ. C ^(a)	1,4	0,8	0,8	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	-90%	
SF ₆	t	95	108	96	59	38	29	29	26	21	22	22	20	19	17	15	-84%	
	Mt CO ₂ e	2,2	2,5	2,2	1,4	0,9	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	-84%	
	Mt équ. C ^(a)	0,6	0,7	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-84%	
NF ₃	t	1,0	0,4	1,2	1,8	1,9	1,8	1,2	0,6	0,4	0,4	0,3	0,4	0,7	0,6	0,5	-48%	
	Mt CO ₂ e	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-48%	
	Mt équ. C ^(a)	0,004	0,002	0,005	0,009	0,009	0,009	0,006	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	-48%	
CO ₂ e ^(c)	Mt CO ₂ e	544	536	549	551	507	483	485	486	455	458	459	463	443	435	393	-28%	
Hors UTCATF	Mt équ. C ^(a)	148	146	150	150	138	132	132	132	124	125	125	126	121	119	107	-28%	
CO ₂ e net ^(b)	Mt CO ₂ e	520	512	529	504	469	445	444	441	416	423	434	446	429	422	379	-27%	
	Mt équ. C ^(a)	142	140	144	137	128	121	121	120	114	115	118	122	117	115	103	-27%	
	kg CO ₂ e/ha	8 929	8 596	8 693	7 981	7 217	6 809	6 760	6 684	6 277	6 360	6 501	6 668	6 410	6 297	5 624	-37%	
	kg C/hab. ^(c)	2 435	2 344	2 371	2 177	1 968	1 857	1 844	1 823	1 712	1 734	1 773	1 819	1 748	1 717	1 534	-37%	
	g CO ₂ e/€ PI	476	409	344	273	228	213	210	205	189	189	189	189	177	173	165	-65%	
	g C / € PIB ^(c)	130	111	94	74	62	58	57	56	52	52	51	52	48	47	45	-65%	
Gaz à effet de serre indirect																		
SO ₂ net ^(a)	kt	1 307	965	643	484	286	242	241	221	178	171	155	149	140	115	104	-92%	
NO _x net ^(a)	kt	2 154	1 978	1 811	1 585	1 233	1 177	1 147	1 124	1 034	1 006	956	929	872	828	700	-68%	
hors UTCATF ^(c)	kt	2 133	1 959	1 792	1 568	1 217	1 161	1 130	1 108	1 018	990	939	911	855	810	683	-68%	
COVNM net ^(a)	kt	4 033	3 681	3 215	2 825	2 338	2 356	2 259	2 265	2 264	2 319	2 250	2 298	2 388	2 304	2 271	-44%	
hors UTCATF ^(c)	kt	2 931	2 533	2 089	1 608	1 236	1 165	1 115	1 107	1 090	1 063	1 040	1 028	1 006	989	955	-67%	
CO net ^(a)	kt	11 802	9 961	7 360	5 848	4 724	4 025	3 733	3 752	3 254	3 224	3 285	3 264	3 129	3 108	2 793	-76%	
hors UTCATF ^(c)	kt	11 060	9 285	6 664	5 265	4 143	3 449	3 158	3 206	2 683	2 650	2 684	2 635	2 513	2 474	2 179	-80%	

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

(b) UTCATF inclus

(c) Emissions CO₂ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 4^{ème} rapport du GIEC (GIEC 2007 - AR4).

PRG: CO₂ = 1 ; CH₄ = 25 ; N₂O = 298 ; SF₆ = 22800 ; NF₃ = 17200 ; HFC et PFC = valeurs variables dépendantes de la composition des gaz.

(d) kt équivalent Carbone = (12/44) kt équivalent CO₂

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

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

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Ecart (%)
Population (10 ³ hab.) ^(e)	58 248	59 519	60 890	63 159	65 004	65 327	65 651	65 985	66 302	66 568	66 724	66 860	66 963	67 054	67 382	16%
PIB (10 ⁹ € courants) ^(e)	1 092	1 252	1 538	1 848	2 058	2 089	2 117	2 150	2 198	2 234	2 297	2 361	2 426	2 438	2 303	111%

(e) source INSEE

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

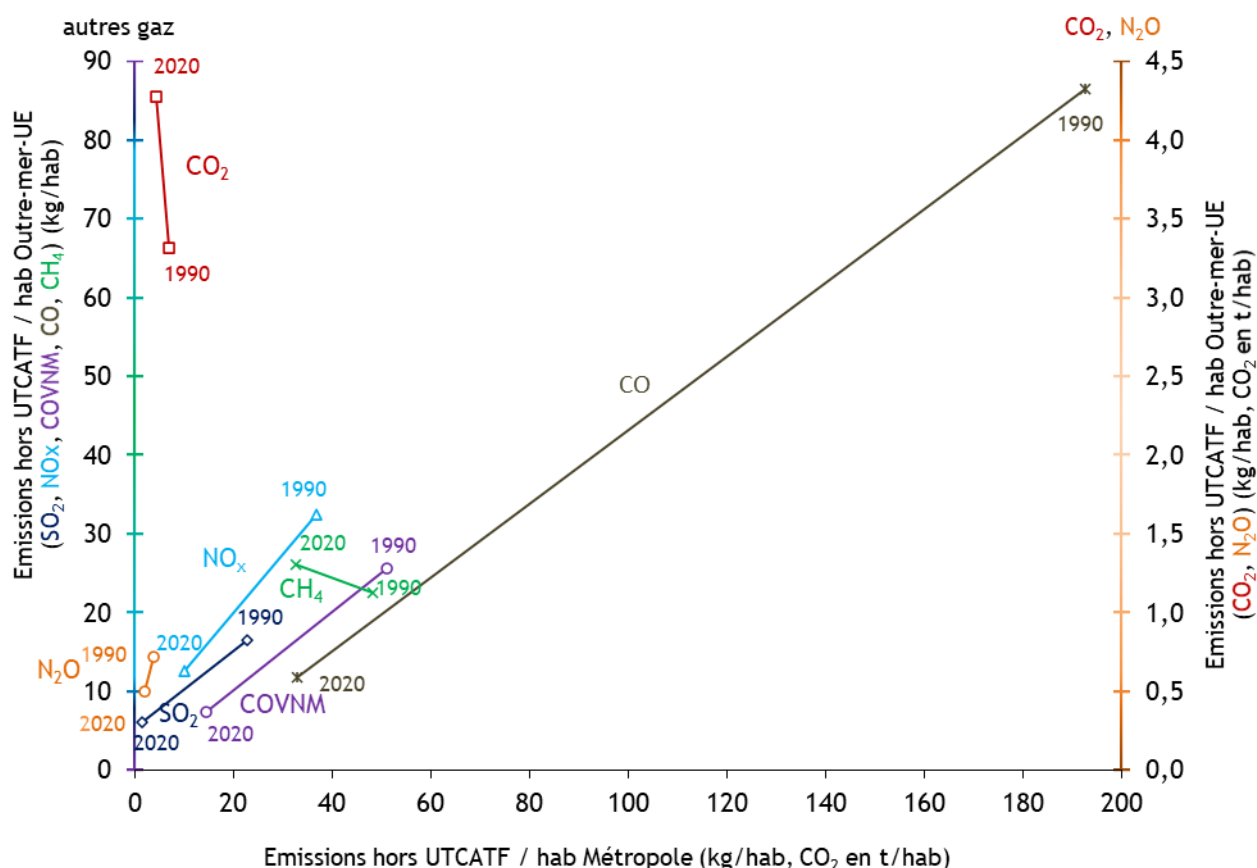
La France, au sens du Protocole Kyoto, est constituée de deux entités : la Métropole et les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE - cf. §1.7. Les spécificités de l'Outre-mer engendrent des profils d'émissions qui diffèrent pour chaque entité.

En termes d'émissions totales exprimées en CO₂ équivalent (avec UTCATF), les observations suivantes sont faites pour les années 1990 et 2020 :

- En 2020, les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE émettent 15,2 Mt CO₂e soit 4,0 % du total des émissions du périmètre KP, pour respectivement 9,5 Mt CO₂e et 1,8 % en 1990.

Une nette augmentation des émissions de CO₂ dans les territoires Outre-mer UE est observée au cours de la période 1990-2020 (+52 % d'émission de CO₂, soit une hausse de 4,3 Mt). Les émissions totales en CO₂e sur cette même période sont donc en hausse de 60 % pour l'Outre-mer UE alors qu'en Métropole, les émissions sont en baisse de plus de 28 %.

Figure 10 : Évolution des émissions hors UTCATF par habitant entre 1990 et 2020 (périmètre Kyoto)



Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

Serre.xlsx/graph_var

Cet accroissement important des émissions des territoires Outre-mer UE comparé à l'évolution de la Métropole est lié à une augmentation soutenue de la consommation d'énergie fossile. Les émissions de CO₂ sont faibles en valeur mais ont connu une forte évolution relative depuis 1990. En effet, les niveaux de 1990 étaient de 3,3 tonnes de CO₂/hab en Outre-mer contre 6,9 tonnes de CO₂/hab en Métropole, alors qu'en 2020, les émissions par habitant sont de 4,3 tonnes en Outre-Mer comme en Métropole. Cette évolution s'explique, d'une part, par les caractéristiques socio-économiques (cf.

section 1.7) et, d'autre part, par les spécificités technologiques de ces territoires. Pour les gaz à effet de serre indirects comme les COVNM, le CO, les NO_x et le SO₂, une tendance à la baisse entre 1990 et 2020, similaire à celle de la métropole en évolution relative, est observée. Ces baisses résultent des différentes directives et normes implémentées au fur et à mesure des années, notamment pour la combustion de combustibles dans la production d'énergie (directive grandes installations de combustion, GIC), dans l'industrie manufacturière (directives GIC et émissions industrielles, IED, et meilleures techniques disponibles, MTD) ou encore dans le transport (normes Euro, directives pour engins mobiles non routiers et directives sur la teneur en soufre des combustibles). Enfin, les émissions de CH₄ par habitant sont en augmentation en Outre-mer (22,6 kg/hab en 1990 contre 26,1 en 2020), contrairement à celles de la Métropole qui ont chuté de 48,2 kg/hab en 1990 à 32,7 kg/hab en 2020, tandis que les émissions de N₂O par habitant sont en baisse pour ces deux périmètres géographiques, bien que le déclin soit plus rapide en Métropole (le total Outre-mer est relativement faible avec 0,5 kg/hab en 2020).

2.1.3 Évolutions des émissions au titre de la Convention

Les évolutions des émissions au périmètre Convention sont similaires à celles du périmètre Kyoto (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 27,0 % des émissions totales exprimées en CO₂ équivalent (hors UTCATF) en 2020 comparées au niveau de 1990. Les émissions totales, UTCATF inclus, sont en baisse de 26,5 % de 1990 à 2020.

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

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

EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE (Périmètre France entière^(f))

Ces valeurs sont régulièrement révisées et complétées afin de tenir compte de l'amélioration

source CITEPA / format CCNUCC (*) - mars 2022

serre/recap_France.xlsx

Substance	Unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Ecart (%) 2020/90
Gaz à effet de serre direct																	
CO ₂ (direct et indirect)	Mt	401	396	418	430	392	370	372	374	343	348	351	354	339	333	295	-26%
Hors UTCATF	Mt éq. C ^(d)	109	108	114	117	107	101	101	102	94	95	96	97	93	91	80	-26%
CO ₂ (direct et indirect)	Mt	373	364	393	378	349	327	326	325	301	309	322	335	321	319	277	-26%
net ^(b)	Mt éq. C ^(d)	102	99	107	103	95	89	89	89	82	84	88	91	88	87	75	-26%
CH ₄	kt	2 782	2 832	2 761	2 562	2 484	2 437	2 387	2 381	2 369	2 333	2 316	2 299	2 268	2 249	2 205	-21%
Hors UTCATF	Mt CO ₂ e	70	71	69	64	62	61	60	60	59	58	58	57	57	56	55	-21%
	Mt éq. C ^(d)	19	19	19	17	17	17	16	16	16	16	16	16	15	15	15	-21%
CH ₄	kt	2 822	2 981	2 829	2 612	2 530	2 483	2 431	2 424	2 415	2 378	2 362	2 350	2 314	2 301	2 250	-20%
net ^(b)	Mt CO ₂ e	71	75	71	65	63	62	61	61	60	59	59	59	58	58	56	-20%
	Mt éq. C ^(d)	19	20	19	18	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	15	-20%
N ₂ O	kt	218	222	181	156	136	131	132	131	135	134	131	135	130	128	122	-44%
Hors UTCATF	Mt CO ₂ e	65	66	54	46	41	39	39	39	40	40	39	40	39	38	36	-44%
	Mt éq. C ^(d)	18	18	15	13	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	-44%
N ₂ O	kt	229	233	191	166	147	142	142	141	145	144	141	145	139	138	132	-42%
net ^(b)	Mt CO ₂ e	68	69	57	49	44	42	42	42	43	43	42	43	42	41	39	-42%
	Mt éq. C ^(d)	19	19	16	13	12	12	12	11	12	12	11	12	11	11	11	-42%
HFC	t	659	808	3 340	6 230	8 197	8 599	8 725	8 639	8 626	8 568	8 481	8 283	7 475	6 538	6 013	813%
	Mt CO ₂ e	4,4	1,7	6,8	12,9	17,0	17,7	17,9	17,8	17,7	17,6	17,3	16,7	14,9	13,1	11,8	169%
	Mt éq. C ^(d)	1,2	0,5	1,8	3,5	4,6	4,8	4,9	4,9	4,8	4,8	4,7	4,6	4,1	3,6	3,2	169%
PFC	t	588	357	346	204	68	86	87	74	68	59	74	77	75	68	60	-90%
	Mt CO ₂ e	5,2	3,1	3,0	1,8	0,6	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	-90%
	Mt éq. C ^(d)	1,4	0,8	0,8	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	-90%
SF ₆	t	95	108	96	60	38	29	29	26	21	22	22	20	19	17	15	-84%
	Mt CO ₂ e	2,2	2,5	2,2	1,4	0,9	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	-84%
	Mt éq. C ^(d)	0,6	0,7	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-84%
NF ₃	t	1,0	0,4	1,2	1,8	1,9	1,8	1,2	0,6	0,4	0,4	0,3	0,4	0,7	0,6	0,5	-48%
	Mt CO ₂ e	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-48%
	Mt éq. C ^(d)	0,004	0,002	0,005	0,009	0,009	0,009	0,006	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	-48%
CO ₂ e ^(c)	Mt CO ₂ e	547	540	553	556	513	489	490	491	461	464	466	470	451	441	399	-27%
Hors UTCATF	Mt éq. C ^(d)	149	147	151	152	140	133	134	134	126	127	127	128	123	120	109	-27%
CO ₂ e net ^(b)	Mt CO ₂ e	523	516	532	509	474	450	449	447	423	430	441	455	436	431	385	-26%
	Mt éq. C ^(d)	143	141	145	139	129	123	122	122	115	117	120	124	119	118	105	-26%
	kg CO ₂ e/ha	8 926	8 599	8 675	7 991	7 234	6 837	6 776	6 714	6 327	6 408	6 556	6 749	6 463	6 379	5 662	-37%
	kg C/hab. ^(c)	2 434	2 345	2 366	2 179	1 973	1 865	1 848	1 831	1 726	1 748	1 788	1 841	1 763	1 740	1 544	-37%
	g CO ₂ e/€ PI	477	410	344	274	229	214	211	207	191	191	191	192	179	176	166	-65%
	g C / € PIB ^(c)	130	112	94	75	62	58	57	56	52	52	52	52	49	48	45	-65%
Gaz à effet de serre indirect																	
SO ₂ net ^(a)	kt	1 325	987	662	504	304	261	260	240	199	193	181	176	167	142	129	-90%
NOx net ^(a)	kt	2 177	2 000	1 834	1 612	1 256	1 201	1 169	1 147	1 060	1 032	982	959	899	858	723	-67%
hors UTCATF ^(c)	kt	2 153	1 979	1 814	1 593	1 239	1 182	1 152	1 130	1 041	1 013	962	935	880	834	705	-67%
COVNM net ^(a)	kt	4 044	3 691	3 222	2 832	2 343	2 361	2 264	2 270	2 269	2 324	2 255	2 305	2 393	2 311	2 276	-44%
hors UTCATF ^(c)	kt	2 941	2 542	2 096	1 614	1 241	1 170	1 119	1 111	1 094	1 067	1 044	1 032	1 010	993	959	-67%
CO net ^(a)	kt	11 888	10 043	7 383	5 909	4 767	4 082	3 754	3 802	3 318	3 287	3 351	3 407	3 172	3 256	2 819	-76%
hors UTCATF ^(c)	kt	11 090	9 311	6 682	5 276	4 150	3 456	3 164	3 212	2 689	2 656	2 690	2 641	2 519	2 479	2 184	-80%

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

(b) UTCATF inclus

(c) Emissions CO₂ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 4^{ème} rapport du GIEC (GIEC 2007 - AR4).PRG: CO₂ = 1 ; CH₄ = 25 ; N₂O = 298 ; SF₆ = 22800 ; NF₃ = 17200 ; HFC et PFC = valeurs variables dépendantes de la composition des gaz.(d) kt équiv. Carbone = (12/44) kt équiv. CO₂

(f) Outre-mer périmètre France entière (territoires inclus dans l'UE, St-Barthélemy, Polynésie française, Nouvelle-Calédonie, St-Pierre-et-Miquelon, Wallis-et-Futuna)

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

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Ecart (%) 2020/90
Population (10 ³ hab.) ^(e)	58 636	59 951	61 363	63 672	65 548	65 875	66 202	66 542	66 869	67 137	67 295	67 435	67 539	67 632	67 960	16%
PIB (10 ⁹ € courants) ^(e)	1 097	1 259	1 546	1 859	2 071	2 101	2 130	2 163	2 212	2 248	2 312	2 375	2 441	2 452	2 317	111%

(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 CO₂ équivalent pour la France (périmètre Kyoto) au cours de la période 1990-2020. 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 Kyoto.

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.

CO₂

Les émissions de CO₂ (hors UTCATF) sont en diminution de 27,4 % sur la période 1990-2020 : compte tenu de l'évolution de l'UTCATF, l'écart entre les émissions de CO₂ UTCATF inclus en 2020 par rapport à 1990 est de -26,7 %. Les rejets de CO₂ sont très fortement corrélés à la consommation d'énergie fossile (CRF 1A) puisqu'en 2020, environ 90 % des émissions de CO₂ hors UTCATF lui sont imputables. Le transport contribue à plus de 37 % aux émissions de CO₂ (hors UTCATF), devant les secteurs résidentiel/tertiaire et agriculture (environ 24 %), la combustion dans l'industrie manufacturière (plus de 14 %) et l'industrie de l'énergie avec presque 13 %. Tous les secteurs de l'énergie sont en baisse sur la période 1990 - 2020, avec une réduction exceptionnelle des émissions du transport (-10 %) en 2020 en raison de la crise sanitaire, alors que des baisses continues mais plus significatives des émissions sont observées en 2020 pour les autres secteurs (-44 % pour l'industrie de l'énergie, -36 % pour l'industrie manufacturière, -25 % pour le résidentiel/tertiaire/agriculture et -67 % pour le reste (1A5)).

Au périmètre Convention, les émissions de CO₂ sont en baisse de 26,4 % sur la période 1990-2020 hors UTCATF et de 25,8 % avec UTCATF. Les secteurs les plus contributeurs à ces émissions suivent la même hiérarchie et dans les mêmes proportions que pour le périmètre Kyoto.

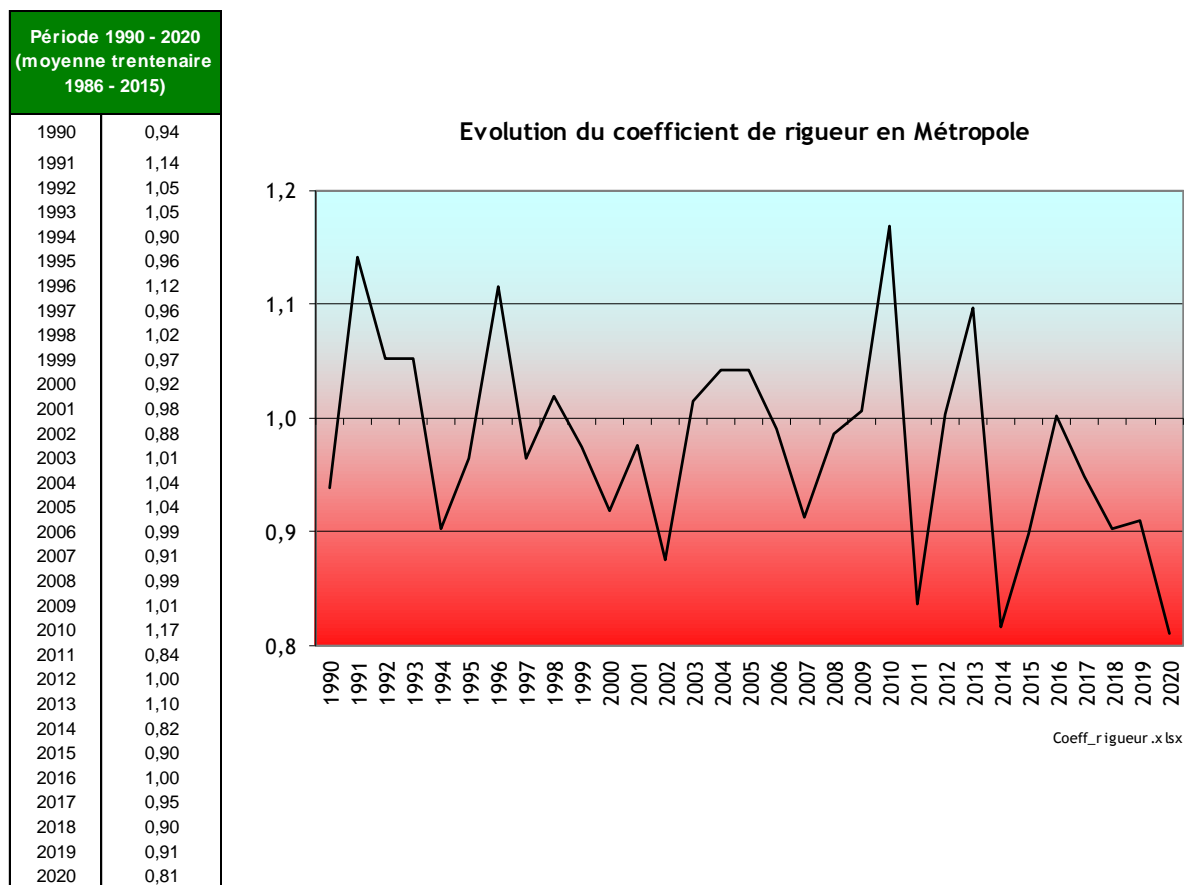
Pour le secteur "résidentiel/tertiaire et agriculture" particulièrement, et pour l'industrie de l'énergie dans une moindre mesure compte tenu du parc électronucléaire, il faut noter que les émissions sont estimées sur la base de données **non corrigées des variations climatiques**. La comparaison entre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

Le coefficient de rigueur de l'année 2020 atteint 0,81, ce qui est bien inférieur à la moyenne de la période 1990-2020 (la moyenne est de 0,98), cela fait donc de 2020 une année chaude record représentant le minimum observé depuis 1990. Ceci influence directement les niveaux de consommations d'énergie et donc les émissions de CO₂ du secteur "résidentiel/tertiaire". En 2020, une baisse non négligeable des émissions est observée pour ce secteur (-4% comparativement à 2019), due probablement en partie à la douceur de l'hiver, bien que d'autres phénomènes comme la crise sanitaire et les confinements conséquents pourraient avoir à l'inverse un effet négatif sur les émissions de ce secteur. Sur des périodes plus longues, les comparaisons sont plus difficiles, car l'influence des comportements, du prix des énergies et des performances des bâtiments est également à considérer. En ce qui concerne l'industrie de l'énergie, et la production d'électricité en particulier, la rigueur climatique et la disponibilité des filières renouvelables et nucléaire influent sur les émissions, sachant que la production électrique française est composée entre 85 % et 93 % par des filières dites "non carbonées" majoritairement nucléaire (67 % à 78 %) et renouvelable (hydraulique, éolien, solaire, etc.). La disponibilité de ces filières est variable selon les années. En 2020 par exemple, la disponibilité de la filière des centrales nucléaires est légèrement en baisse comparée à 2019 et constitue le niveau le plus faible observé depuis 2000, tandis que la filière hydraulique, éolien et photovoltaïque est en hausse par rapport à 2019 et constitue le plus haut niveau observé sur la

période 1990-2020. Ceci explique en partie la considérable baisse des émissions de CO₂ de la filière de la production électrique (-11 % comparées à 2019) qui a moins eu recours à l'énergie fossile.

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

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



sources : SDES, CPDP

N.B. La période de référence pour le calcul du coefficient de rigueur est 1986 – 2015. 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 CO₂ ne provenant pas de la consommation d'énergie fossile, les procédés industriels en constituent le principal secteur émetteur avec 9,2 % des émissions de CO₂ hors UTCATF en 2020.

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'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, 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.

Le bilan de l'UTCATF en CO₂ est passé de -28 Mt en 1990 à -18 Mt en 2020. La baisse du puits en 2000 est liée aux tempêtes de 1999. En 2009, le puits régresse également du fait de la tempête Klaus début 2009.

Pour les deux derniers paragraphes, l'analyse au périmètre de la Convention est identique. Les émissions des territoires non pris en compte dans Kyoto influent peu sur les résultats globaux.

CH₄

Les émissions de CH₄ (hors UTCATF) diminuent sur la période 1990-2020 (-21 %), mais avec des évolutions très disparates selon les secteurs.

L'agriculture est, tout au long de la période, la source d'émission dominante de CH₄ avec 68 % des émissions hors UTCATF en 2020 et enregistre une baisse depuis 1990 de 12 %, 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 (3,9 % du total des émissions de CH₄ hors UTCATF en 2020) enregistre une baisse de 83 % de ses émissions de CH₄, du fait de l'arrêt de l'activité minière, 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 CH₄ (environ 28 % du total hors UTCATF en 2020), enregistre quant à lui une hausse de 8 % de ses émissions en 2020 par rapport à 1990, principalement due à l'augmentation des activités du traitement des eaux et rejets (5D, +56 % d'émissions par rapport à 1990) et du traitement biologique des déchets solides (5B, +359 % 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 5 % depuis 1990. Bien que le niveau des émissions est en hausse comparativement à celui de 1990, les émissions de méthane du secteur des déchets connaissent une baisse de 19 % depuis 2005.

Pour le CH₄, l'analyse au périmètre de la Convention est identique. Les émissions des territoires non pris en compte dans Kyoto influent peu sur les résultats globaux.

N₂O

Jusqu'en 1997, les émissions de N₂O hors UTCATF fluctuaient avec une amplitude de quelques pour cents. Depuis cette date, une nette diminution est observée en raison principalement des actions menées dans le secteur des industries chimiques. L'écart est de -44 % hors UTCATF en 2020 par rapport à 1990.

L'agriculture reste le secteur prédominant avec 87 % des émissions de N₂O hors UTCATF en 2020. Les émissions de ce secteur ont toutefois diminué de 14 % entre 1990 et 2020.

La baisse conséquente des émissions des procédés de l'industrie (presque 37 % des émissions totales de N₂O hors UTCATF en 1990 contre 2 % en 2020) explique entre autre la contribution croissante du secteur de l'énergie qui passe de 5 % en 1990 à plus de 9 % en 2020.

Pour le N₂O, l'analyse au périmètre de la Convention est identique. Les émissions des territoires non pris en compte dans Kyoto 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 2020 suite à l'utilisation de ces produits en substitution aux CFC et HCFC (plus de +800 % en masse). Toutefois, l'effet de structure des différentes molécules émises conduit à un accroissement plus limité du PRG moyen (+167 %). Depuis 1995, les émissions de HFC (en CO₂e) avaient chaque année été en augmentation jusqu'en 2016, mais une baisse est à noter depuis 2017 et qui s'accroît en 2020 (-32 % de baisse en CO₂e en 2020 par rapport à 2016) 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 non pris en compte dans Kyoto 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 coefficients respectifs de 14 800 et 4 470 en équivalent CO₂ (PRG à 100 ans). 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 (coefficient de 1 430 en équivalent CO₂), 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, entraîne 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 CO₂e réduites toutes deux de 90 % au cours de la période 1990 - 2020.

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 de l'électrolyse de l'aluminium. 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 2004 de plus de 31 % en un an. Une autre fermeture de site début 2008 a conduit à une autre baisse significative (-34 % 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 CO₂e, 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 7 390 et 12 200 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 2020 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 non pris en compte dans Kyoto n'influent pas sur les résultats globaux.

SF₆

Les émissions de SF₆ étaient en hausse lente mais régulière jusqu'en 1998. Le niveau des années suivantes enregistre une baisse du fait d'une consommation de SF₆ 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 2020 fait apparaître une baisse de 84 % par rapport à 1990.

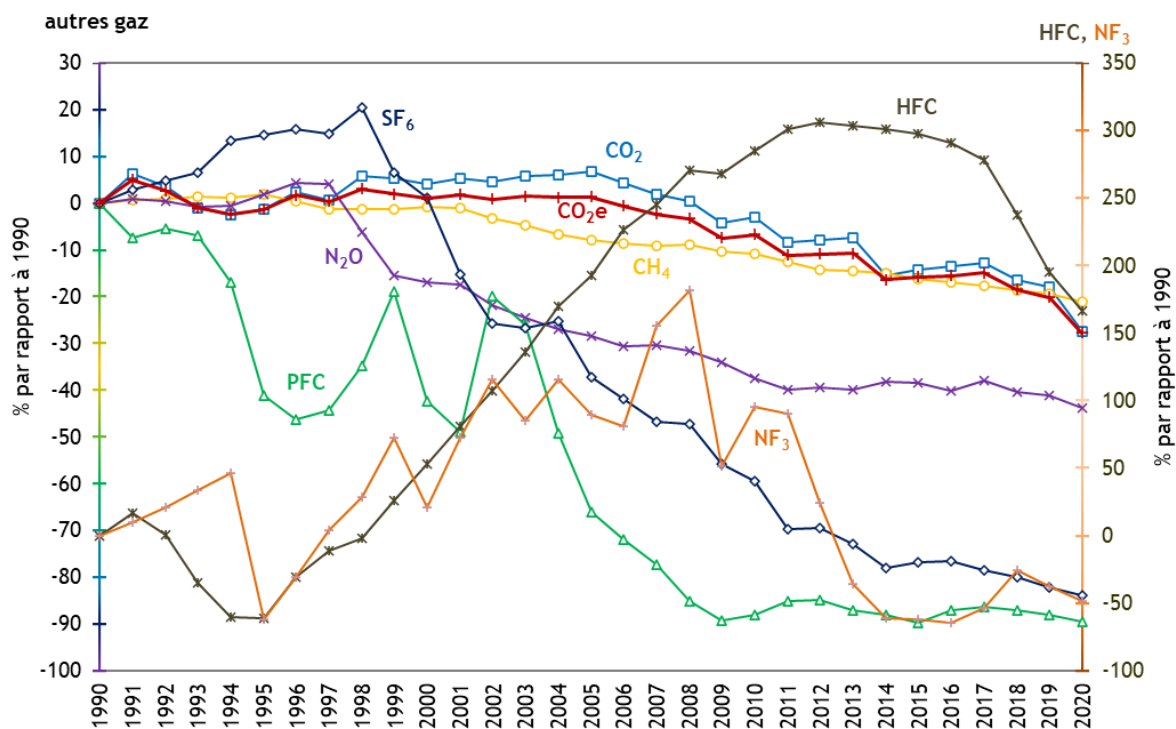
Pour le SF₆, l'analyse au périmètre de la Convention est identique. Les émissions des territoires non pris en compte dans Kyoto influent peu sur les résultats globaux.

NF₃

Le NF₃ est uniquement utilisé en France dans l'industrie de la fabrication de semi-conducteurs. Les émissions de NF₃ 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. À partir de 1996, une nouvelle augmentation des émissions est observée due à la consommation plus importante de ce gaz. À partir de 2005, les émissions fluctuent et évoluent annuellement en fonction des consommations et de l'efficacité des systèmes de traitement bien qu'une baisse globale soit observée. La situation observée en 2020 fait apparaître une baisse de 48 % par rapport à 1990.

Pour le NF₃, 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 1990-2020 en France (périmètre Kyoto)



Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

Serre.xlsx/graph_var

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

EMISSIONS DETAILLEES DES HFC ET PFC EN FRANCE (périmètre Kyoto^(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 2022

serre/HFC_PFC.xlsx

émissions brutes (t)																	Ecart (%)
Substances	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2020/90	
HFC																	
HFC-23	142,0	19,5	31,8	35,4	11,6	7,5	8,0	9,1	9,0	9,1	13,6	17,1	7,8	5,5	4,2	-97%	
HFC-32	NO,NA	2	20	138	371	407	439	476	522	565	612	653	702	754	802	-	
HFC-4310mee	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	-	
HFC-125	9	64	256	794	1 287	1 357	1 395	1 415	1 433	1 447	1 444	1 418	1 352	1 267	1 167	13514%	
HFC-134a	NO,IE,NA	642	2 640	3 971	4 797	4 936	4 935	4 927	4 939	4 897	4 893	4 741	4 093	3 399	3 131	-	
HFC-152a	NO,NA	0	1	321	363	380	381	297	270	234	202	201	190	157	120	-	
HFC-143a	508	52	331	771	1 036	1 066	1 064	1 030	995	957	890	814	698	589	482	-5%	
HFC-227ea	NO,NA	1	17	41	65	74	77	78	77	80	79	75	73	68	68	-	
HFC-365mfc	NO,NA	NO,NA	6	25	91	109	114	116	143	155	154	146	162	130	92	-	
HFC-245fa	NO,NA	NO,NA	1	10	27	33	39	40	45	67	92	114	115	96	69	-	
HFC-mix ^(a) (kt CO ₂ e)	NO,IE,NA	36	40	140	159	263	329	293	207	151	65	64	45	34	36	-	
total HFC hors HFC-mix	659	781	3 304	6 106	8 048	8 371	8 451	8 388	8 434	8 412	8 380	8 179	7 393	6 465	5 936	801%	
PFC																	
PFC-14	391	242	238	131	20	26	22	16	15	11	18	12	14	14	13	-97%	
PFC-116	162	68	77	38	7	9	8	5	4	4	6	5	4	4	4	-98%	
PFC-218	0,003	0,003	0,092	0,093	NO,IE,NA	NO,IE,NA	0,013	NO,IE,NA	NO,IE,NA	NO,IE,NA	NO,IE,NA	NO,IE,NA	0,034	NO,IE,NA	NO,IE,NA	-	
PFC-318	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	-98%	
PFC-mix ^(b) (kt CO ₂ e)	241,3	335,3	151,3	318,2	380,9	477,1	529,7	490,9	446,9	401,9	456,9	551,6	531,4	467,2	404,8	68%	
total PFC hors PFC-mix	562	321	329	170	27	35	30	21	20	16	24	18	17	18	16	-97%	
Total																	
émissions brutes (t)																	Ecart (%)
Substances	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2020/90	
total HFC (kt CO ₂ e)	4 402	1 702	6 736	12 862	16 930	17 629	17 862	17 772	17 662	17 494	17 205	16 637	14 847	12 992	11 735	167%	
total PFC (kt CO ₂ e)	5 202	3 065	2 997	1 760	617	774	790	670	616	537	666	708	677	615	543	-90%	

(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) Outre-mer périmètre Kyoto (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 - 2020 (-92 % pour le SO₂, -76 % pour le CO, -44 % pour les COVNM et -68 % pour les NO_x).

Le rejet de 104 kt de SO₂ en 2020 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. 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 (-73 % d'émissions entre 1990 et 2020 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.

2.2 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 2020.

Les tableaux suivants récapitulent l'ensemble des émissions au format CRF pour les polluants CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆, NF₃, SO₂, NO_x, CO et COVNM au cours de la période 1990-2020.

Tableau 18 : Contribution des catégories GIEC aux émissions de gaz à effet de serre hors UTCATF en France en 2020 (Périmètre Kyoto)

CONTRIBUTION DES CATEGORIES GIEC AUX EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE HORS UTCATF EN FRANCE EN 2020 (périmètre Kyoto)

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

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022		s_cle_hors.UTCATF.xlsx/secteurs	
CO₂ (Mt)	289	CH₄ (kt)	2 186
Catégories GIEC	%	Catégories GIEC	%
1A3 Transports (*)	37	3A Fermentation entérique	61
1A4 Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture (a)	24	5A Stockage de déchets non dangereux	22
1A2 Combustion industrie manufacturière et construction	14	3B Gestion des déjections animales	6,9
1A1 Combustion transformation d'énergie	13	5D Traitement des eaux usées	4,3
2C Procédés industrie métallurgique	3,4	5B Biological treatment of solid waste	2,1
2A Procédés industriels - produits minéraux	3,1	Autres sources	4,2
2B Procédés industrie chimique	2,2		
Autres sources	3,0		
N₂O (kt)	122		
Catégories GIEC	%		
3Da Emissions directes des sols agricoles	66		
3Db Emissions indirectes des sols agricoles	14		
3B Gestion des déjections animales	6,5		
1A4 Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture	3,8		
1A3 Transports (*)	3,2		
2B Procédés industrie chimique	1,7		
Autres sources	4,5		
PFC (kt équivalent CO₂)	543	SF₆ (kt)	0,02
Catégories GIEC	%	Catégories GIEC	%
2G Autre utilisation de PFC dans l'industrie manufacturière	74	2G Autre utilisation de SF ₆ dans l'industrie manufacturière	97
2E Procédés industrie électronique	14	2C Procédés industrie métallurgique	2,2
2C Procédés industrie métallurgique	11	2E Procédés industrie électronique	1,2
HFC (kt équivalent CO₂)	11 735	NF₃ (kt)	0,0005
Catégories GIEC	%	Catégories GIEC	%
2F Utilisation des HFC	99	2E Procédés industrie électronique	100
Autres sources	0,9		
CO₂e sur 7 gaz : CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆, NF₃ (Mt équiv. CO₂) (b)	393		
Catégories GIEC	%	Catégories GIEC	%
1A3 Transports (*)	28	2F Utilisation d'halocarbures	3,0
1A4 Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture (a)	18	2C Procédés industrie métallurgique	2,5
1A2 Combustion industrie manufacturière et construction	11	2A Procédés industriels - produits minéraux	2,3
1A1 Combustion transformation d'énergie	9,4	2B Procédés industrie chimique	1,8
3A Fermentation entérique	8,4	3B Gestion des déjections animales	1,6
3Da Emissions directes des sols agricoles	7,4	Autres sources	3,8
5A Stockage de déchets non dangereux	3,0		
NO_x (kt)	683	CO (kt)	2 179
Catégories GIEC	%	Catégories GIEC	%
1A3 Transports (*)	52	1A4 Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture	49
1A4 Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture	18	1A3 Transports (*)	16
1A2 Combustion industrie manufacturière et construction	13	2C Procédés industrie métallurgique	15
3Da Emissions directes des sols agricoles	8,5	1A2 Combustion industrie manufacturière et construction	14
1A1 Combustion transformation d'énergie	5,8	3F Ecobuage	1,8
Autres sources	2,6	Autres sources	4,2
COVNM (kt)	955	SO₂ (kt)	104
Catégories GIEC	%	Catégories GIEC	%
3Da Emissions directes des sols agricoles	20	1A2 Combustion industrie manufacturière et construction	44
3B Gestion des déjections animales	20	1A1 Combustion transformation d'énergie	20
2G Autre utilisation de solvants dans l'industrie manufacturière	20	1A4 Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture	15
1A4 Combustion résidentiel, tertiaire, agriculture	12	1B2 Extraction et distribution du pétrole et gaz naturel	9
2D Utilisation non-énergétique de produits	11	2C Procédés industrie métallurgique	5,5
1A3 Transports (*)	5,6	2B Procédés industrie chimique	2,3
2H Procédés industrie alimentaire	4,3	Autres sources	3,7
1B2 Extraction et distribution du pétrole et gaz naturel	1,8		
Autres sources	3,9		

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

(a) hors CO₂ biomasse

(b) Emissions CO₂ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 4^{ème} rapport du GIEC (GIEC 2007 - AR4).

PRG: CO₂ = 1 ; CH₄ = 25 ; N₂O = 298 ; SF₆ = 22800 ; NF₃ = 17200 ; HFC et PFC = valeurs variables dépendantes de la composition des gaz.

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Tableau 19 : Émissions de CO₂ en France par catégorie CRF (Périmètre Kyoto)FRANCE (Périmètre Kyoto^(f))

1990 - 2020

CO₂ (kt)

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

serre/CO2.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	écart (%) 2020/1990
Total national (émissions nettes)	370 280	361 121	390 194	373 972	344 171	322 089	321 847	319 937	294 542	303 032	315 143	326 838	314 544	310 432	271 428	-27
1 Energie	351 435	350 115	370 522	381 286	350 369	328 513	332 677	332 424	300 829	307 160	310 071	311 643	297 061	291 379	259 172	-26
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	347 074	345 694	366 225	377 276	346 148	324 522	329 274	329 287	297 780	304 214	307 113	308 741	294 063	288 791	256 969	-26
1 Industries de l'énergie	65 823	55 329	61 956	66 347	59 652	54 398	56 623	55 021	41 800	44 691	48 201	52 174	42 886	41 359	36 822	-44
2 Industries manufacturières et construction	64 591	68 883	67 108	65 393	55 776	52 468	51 136	50 589	48 036	47 164	47 039	44 797	45 888	43 802	41 589	-36
3 Transport	120 341	129 861	139 062	140 204	132 266	133 192	131 486	130 759	130 693	132 149	132 329	132 669	130 090	130 180	108 179	-10
4 Autres secteurs	91 855	91 027	96 141	102 706	96 196	81 814	87 745	90 686	75 133	78 173	78 197	77 778	73 783	71 840	68 903	-25
5 Autre	4 464	594	1 958	2 626	2 258	2 651	2 284	2 233	2 119	2 037	1 347	1 324	1 417	1 608	1 476	-67
B Emissions fugitives des combustibles	4 362	4 421	4 296	4 009	4 221	3 991	3 402	3 137	3 049	2 946	2 958	2 902	2 998	2 588	2 203	-49
2 Combustibles liquides et gazeux	4 362	4 421	4 296	4 009	4 221	3 991	3 402	3 137	3 049	2 946	2 958	2 902	2 998	2 588	2 203	-49
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	42 902	38 604	40 574	40 644	32 910	32 604	30 655	32 529	32 256	30 753	30 937	32 379	31 929	31 576	26 756	-38
A Produits minéraux	14 977	12 467	12 376	12 654	11 059	11 379	10 635	10 663	10 281	9 728	9 636	9 557	9 982	10 061	9 083	-39
B Chimie	7 540	7 865	8 528	8 189	6 501	6 451	6 386	6 309	6 768	6 689	6 527	6 850	6 566	6 723	6 283	-17
C Métallurgie	17 678	15 705	17 034	17 436	13 411	12 906	11 886	13 786	13 352	12 689	13 116	14 457	13 797	13 332	9 863	-44
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants	2 048	1 916	1 960	1 810	1 349	1 338	1 250	1 259	1 322	1 176	1 190	998	1 110	1 009	1 068	-48
G Autres fabrication et utilisations de produits	659	651	675	555	590	530	497	512	532	471	468	517	475	451	460	-30
H Autre	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,10	135
3 Agriculture	1 894	1 973	1 989	1 965	1 986	2 053	2 157	2 061	2 127	2 176	2 164	2 108	2 184	2 032	1 859	-1,8
G Chaulage	915	1 049	955	914	802	886	971	905	909	863	789	645	732	669	641	-30
H Application d'urée	850	803	871	886	1 011	981	1 010	980	1 054	1 140	1 225	1 298	1 290	1 211	1 036	22
I Autres engrais contenant du carbone	128	121	162	165	172	186	176	176	164	173	150	165	163	152	182	42
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	-28 145	-31 795	-24 595	-51 471	-42 701	-42 732	-45 183	-48 623	-42 463	-38 599	-29 580	-20 767	-18 069	-16 293	-17 961	-36
A Forêts	-39 613	-44 901	-33 978	-65 562	-59 383	-57 697	-60 169	-63 078	-56 392	-52 870	-43 516	-34 085	-31 475	-30 069	-31 389	-21
B Terres cultivées	21 141	20 561	19 077	16 538	17 793	16 807	15 438	14 185	13 420	12 943	12 270	11 766	11 485	11 736	11 507	-46
C Prairies	-14 022	-15 121	-14 512	-9 735	-9 994	-10 618	-10 240	-9 912	-9 489	-9 193	-8 962	-8 774	-8 571	-8 493	-8 543	-39
D Terres humides	358	226	234	526	355	512	512	512	511	511	495	495	495	495	495	38
E Terrains bâtis	9 092	9 266	9 111	10 564	11 796	11 576	11 479	11 358	11 168	11 089	10 947	10 878	10 859	10 759	10 744	18
G Récolte du bois	-5 100	-3 042	-5 141	-4 112	-3 425	-3 449	-2 322	-1 791	-1 772	-1 159	-883	-1 108	-914	-768	-814	-84
H Autre	NO,NA	1 217	614	310	156	136	119	104	90	79	69	60	52	46	40	-
5 Déchets	2 194	2 223	1 704	1 549	1 608	1 650	1 542	1 545	1 795	1 542	1 552	1 475	1 439	1 738	1 603	-27
A Installations de stockage de déchets non dangereux	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-
C Incinération et brûlage de déchets	2 194	2 223	1 704	1 549	1 608	1 650	1 542	1 545	1 795	1 542	1 552	1 475	1 439	1 738	1 603	-27
Memo																
Soutes internationales	16 766	17 748	23 596	24 516	24 016	25 418	24 536	23 734	22 840	23 116	22 537	23 124	24 427	24 580	11 173	-33
Aviation	8 805	10 621	14 127	15 732	16 095	16 932	16 518	16 418	16 601	17 561	17 264	17 540	18 136	19 046	8 046	-8,6
Marine	7 961	7 127	9 469	8 783	7 921	8 485	8 018	7 316	6 239	5 555	5 273	5 584	6 291	5 534	3 127	-61
Opérations multilatérales	0,7	1,3	2,0	1,1	1,3	1,2	1,7	1,1	1,6	1,7	1,8	1,6	1,6	1,1	1,4	112
Emissions de CO₂ de la biomasse	43 980	45 286	42 851	48 219	59 694	52 326	57 825	62 094	56 822	60 167	63 592	63 050	63 154	62 870	59 127	34

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Tableau 20 : Émissions de CH₄ en France par catégorie CRFFRANCE (Périmètre Kyoto^(f))

1990 - 2020

CH₄ (kt CO₂e)

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

serre/CH4.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	écart (%) 2020/1990
Total national (émissions nettes)	70 094	74 053	70 296	64 820	62 793	61 586	60 333	60 114	59 864	58 940	58 532	58 136	57 354	56 877	55 747	-20
1 Energie	12 404	11 918	7 568	4 922	3 704	3 176	3 263	3 252	2 740	2 743	2 797	2 619	2 483	2 398	2 128	-83
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	5 792	5 368	4 032	3 111	2 168	1 715	1 836	1 876	1 510	1 535	1 565	1 481	1 398	1 390	1 276	-78
1 Industries de l'énergie	66	46	32	35	37	36	34	33	29	35	46	52	43	49	45	-32
2 Industries manufacturières et construction	97	99	83	101	117	95	95	99	91	99	104	99	105	99	96	-1,2
3 Transport	977	796	596	411	232	213	197	182	168	164	160	160	161	166	143	-85
4 Autres secteurs	4 649	4 426	3 320	2 561	1 779	1 368	1 508	1 559	1 219	1 234	1 252	1 169	1 087	1 075	990	-79
5 Autre	3,0	0,9	0,9	4,0	3,1	3,5	3,1	2,9	2,7	2,7	1,7	1,6	1,7	2,2	2,0	-32
B Emissions fugitives des combustibles	6 612	6 549	3 536	1 811	1 536	1 461	1 427	1 377	1 230	1 209	1 232	1 138	1 085	1 008	851	-87
1 Combustibles solides	4 810	4 927	2 026	389	52	32	16	20	14	15	16	17	18	15	26	-99
2 Combustibles liquides et gazeux	1 801	1 622	1 510	1 422	1 483	1 429	1 411	1 357	1 216	1 194	1 216	1 121	1 067	993	826	-54
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	220	221	236	207	147	126	101	89	94	85	87	77	70	66	57	-74
B Chimie	78	93	102	95	79	51	43	44	52	47	43	42	37	34	31	-60
C Métallurgie	140,9	127,1	133,4	112,0	67,2	73,9	57,5	45,2	41,0	37,3	43,0	35,5	33,1	32,0	25,6	-82
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants	1,4	1,3	0,9	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	-83
3 Agriculture	42 218	41 145	42 197	39 373	39 325	39 134	38 437	38 394	39 174	39 281	38 880	38 527	38 099	37 443	36 999	-12
A Fermentation entérique	38 631	37 464	38 104	35 427	35 594	35 004	34 644	34 708	35 188	35 334	35 131	34 750	34 220	33 644	33 137	-14
B Gestion des déjections animales	3 461	3 531	3 949	3 836	3 629	4 030	3 697	3 600	3 911	3 874	3 679	3 702	3 816	3 731	3 796	10
C Rizières	58	83	70	63	59	60	57	52	42	41	42	43	34	39	38	-34
F Incinération des résidus de culture	69	68	74	46	43	41	39	34	33	33	28	31	29	31	28	-59
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	933	3 670	1 693	1 189	1 130	1 107	1 089	1 034	1 078	1 078	1 100	1 125	1 115	1 138	1 106	19
A Forêts	602	656	724	539	560	563	546	501	545	549	572	594	584	610	587	-2,5
B Terres cultivées	127	121	107	115	123	114	116	112	113	111	111	113	113	111	110	-14
C Prairies	148	143	125	155	143	130	132	127	128	127	130	132	132	131	124	-16
D Terres humides	6,9	5,2	5,3	9,2	7,2	9,4	9,4	9,4	9,3	9,3	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	29,5
E Terrains bâtis	49	47	44	63	62	60	60	60	60	60	58	58	58	58	58	19
H Autre	NO,NA	2 698	687	306	234	230	226	224	222	221	220	219	219	218	218	-
5 Déchets	14 318	17 099	18 602	19 129	18 487	18 043	17 442	17 343	16 779	15 753	15 669	15 787	15 586	15 830	15 458	8,0
A Installations de stockage de déchets non dangereux	12 563	14 914	15 996	16 425	15 588	15 026	14 302	14 139	13 501	12 443	12 363	12 431	12 155	12 372	11 965	-4,8
B Traitement biologiques des déchets solides (compostage, méthanisation...)	245	292	446	577	693	801	909	970	1 024	1 028	1 033	1 068	1 104	1 115	1 125	359
C Incinération et brûlage de déchets	20	21	23	24	25	25	27	28	30	31	31	32	34	37	38	93
D Traitement des eaux et rejets	1 491	1 871	2 137	2 103	2 182	2 192	2 205	2 205	2 225	2 251	2 242	2 256	2 293	2 306	2 330	56
Memo																
Soutes internationales	23	19	25	23	21	22	21	19	17	15	14	15	17	15	8	-65
Aviation	4,3	2,3	1,9	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	0,7	-84
Marine	19	17	23	21	19	20	19	18	15	13	13	13	15	13	8	-61

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Tableau 21 : Émissions de N₂O en France par catégorie CRFFRANCE (Périmètre Kyoto^(f))

1990 - 2020

N₂O (kt CO₂e)

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

serre/N2O.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	écart (%) 2020/1990
Total national (émissions nettes)	67 951	69 183	56 873	49 279	43 694	42 046	42 264	41 928	43 034	42 840	41 705	43 061	41 363	40 939	39 147	-42
1 Energie	3 433	4 046	3 900	4 183	3 638	3 578	3 675	3 801	3 671	3 731	3 731	3 706	3 574	3 537	3 430	-0,1
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	3 406	4 020	3 870	4 143	3 600	3 559	3 659	3 787	3 671	3 717	3 718	3 693	3 560	3 524	3 279	-3,7
1 Industries de l'énergie	448	427	538	590	445	328	367	333	257	262	300	331	260	271	248	-45
2 Industries manufacturières et construction	477	444	478	635	417	526	525	541	524	531	532	523	525	522	502	5,3
3 Transport	975	1 672	1 393	1 425	1 251	1 290	1 335	1 368	1 401	1 430	1 449	1 451	1 401	1 379	1 147	18
4 Autres secteurs	1 470	1 474	1 445	1 476	1 472	1 398	1 418	1 531	1 462	1 481	1 428	1 380	1 365	1 343	1 373	-6,6
5 Autre	35,16	4,05	15,25	15,20	13,68	16,29	13,83	13,76	13,12	12,41	8,32	8,43	9,01	8,97	8,13	-77
B Emissions fugitives des combustibles	26	26	30	41	38	19	16	14	14	14	14	13	14	12	151	473
2 Combustibles liquides et gazeux	26	26	30	41	38	19	16	14	14	14	14	13	14	12	151	473
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	23 831	25 932	11 924	6 760	2 287	1 386	1 021	1 001	1 184	1 291	1 027	1 658	1 090	918	742	-97
B Chimie	23 708	25 806	11 797	6 630	2 155	1 253	888	867	1 049	1 156	892	1 523	955	782	606	-97
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants	1,433	2,504	2,171	2,415	2,041	2,115	2,157	2,207	2,280	2,437	2,453	2,455	2,407	2,477	2,011	40
G Autres fabrication et utilisations de produits	121	123	125	128	130	131	131	132	132	132	133	133	133	133	133	10
3 Agriculture	36 691	35 162	37 106	34 680	33 892	33 295	33 827	33 499	34 608	34 263	33 445	34 200	33 266	33 020	31 529	-14
B Gestion des déjections animales	2 819	2 732	2 753	2 566	2 572	2 560	2 533	2 524	2 542	2 544	2 518	2 471	2 443	2 391	2 350	-17
D Sols agricoles	33 850	32 410	34 330	32 100	31 306	30 723	31 281	30 964	32 055	31 709	30 918	31 720	30 813	30 619	29 169	-14
F Incinération des résidus de culture	21	21	23	14	13	13	12	11	10	10	9	10	9	10	9	-59
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	3 226	3 246	3 193	2 971	3 216	3 167	3 100	2 998	2 971	2 944	2 915	2 899	2 863	2 867	2 850	-12
A Forêts	443	405	438	341	345	348	343	319	338	341	355	369	359	375	364	-18
B Terres cultivées	1 552	1 577	1 516	1 417	1 534	1 503	1 469	1 427	1 411	1 400	1 378	1 363	1 344	1 345	1 346	-13
C Prairies	140	147	141	152	148	145	139	128	120	113	108	107	107	105	100	-29
D Terres humides	0,6	0,4	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	30
E Terrains bâtis	591,8	606,3	600,6	587,3	669,8	661,3	651,5	640,2	627,2	621,7	614,0	606,7	603,4	594,0	592,2	0,1
5 Déchets	771	796	750	684	661	620	641	629	600	610	586	598	571	597	597	-23
B Traitement biologiques des déchets solides (compostage, méthanisation...)	49	62	90	112	134	155	177	188	198	198	199	206	213	214	215	335
C Incinération et brûlage de déchets	150	151	119	101	77	69	70	49	53	62	48	67	35	63	63	-58
D Traitement des eaux et rejets	571	584	542	470	450	396	394	393	349	350	339	325	322	320	319	-44
Memo																
Soutes internationales	132	140	187	195	191	202	195	189	182	185	180	185	195	197	89	-33
Aviation	71	86	115	128	131	137	134	133	135	142	140	142	147	154	65	-8,6
Marine	61	54	72	67	60	65	61	56	48	42	40	43	48	42	24	-61

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Tableau 22 : Émissions de HFC en France par catégorie CRF

FRANCE (Périmètre Kyoto^(f))1990 - 2020 HFCs (kt CO₂e)

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

serre/HFCs.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	écart (%) 2020/1990
Total national (émissions nettes)	4 402	1 702	6 736	12 862	16 930	17 629	17 862	17 772	17 662	17 494	17 205	16 637	14 847	12 992	11 735	167
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	4 402	1 702	6 736	12 862	16 930	17 629	17 862	17 772	17 662	17 494	17 205	16 637	14 847	12 992	11 735	167
B Chimie	4 374	666	685	827	210	126	144	133	153	212	292	303	149	128	94	-98
E Industrie électronique	29	17	26	18	12	18	11	6,4	3,6	3,2	2,8	7,6	8,3	6,7	6,6	-77
F Consommation d'halocarbures	NO,IE	1 019	6 025	12 017	16 708	17 485	17 707	17 632	17 504	17 279	16 910	16 326	14 690	12 857	11 634	-
G Autres fabrication et utilisations de produits	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0,1	0,4	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,6	0,6	-

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

Tableau 23 : Émissions de PFC en France par catégorie CRF

FRANCE (Périmètre Kyoto^(f))1990 - 2020 PFCs (kt CO₂e)

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

serre/PFCs.xls

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	écart (%) 2020/1990
Total national (émissions nettes)	5 202	3 065	2 997	1 760	617	774	790	670	616	537	666	708	677	615	543	-90
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	5 202	3 065	2 997	1 760	617	774	790	670	616	537	666	708	677	615	543	-90
B Chimie	1 191	318	340	255	13	3,9	3,3	3,3	2,7	2,4	2,2	3,1	NO,NA	NO,NA	NO,NA	-
C Métallurgie	3 567	2 103	1 922	830	53	98	134	98	81	62	109	41	65	67	61	-98
E Industrie électronique	203	308	584	357	171	195	124	79	85	70	98	112	81	81	77	-62
G Autres fabrication et utilisations de produits	241	335	151	318	381	477	530	491	447	402	457	552	531	467	405	68

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Tableau 24 : Émissions de SF₆ en France par catégorie CRFFRANCE (Périmètre Kyoto ^(f))1990 - 2020 SF₆ (kt CO₂e)

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

serre/SF6.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	écart (%) 2020/1990
Total national (émissions nettes)	2 155	2 467	2 180	1 355	875	651	655	584	474	498	507	461	433	385	347	-84
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	2 155	2 467	2 180	1 355	875	651	655	584	474	498	507	461	433	385	347	-84
B Chimie	130	130	137	112	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	-
C Métallurgie	721	803	739	344	191	80	98	87	52	38	60	54	57	31	8	-99
E Industrie électronique	56	55	65	35	4,9	5,4	4,6	4,5	1,9	2,4	2,1	3,9	3,5	3,4	4,1	-93
G Autres fabrication et utilisations de produits	1 249	1 479	1 240	864	679	565	552	492	421	458	444	403	372	351	335	-73

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

Tableau 25 : Émissions de NF₃ en France par catégorie CRFFRANCE (Périmètre Kyoto ^(f))1990 - 2020 NF₃ (kt CO₂e)

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

serre/NF3.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	écart (%) 2020/1990
Total national (émissions nettes)	16	6,3	20	31	32	31	20	11	6,4	6,2	5,8	7,6	12,3	10,3	8,5	-48,2
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	16	6,3	20	31	32	31	20	11	6,4	6,2	5,8	7,6	12,3	10,3	8,5	-48,2
E Industrie électronique	16	6,3	20	31	32	31	20	11	6,4	6,2	5,8	7,6	12,3	10,3	8,5	-48,2

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Tableau 26 : Émissions de SO₂ en France par catégorie CRFFRANCE (Périmètre Kyoto^(f))

1990 - 2020

SO₂ (kt)

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

serre/SO2.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	écart (%) 2020/1990
Total national (émissions nettes)	1 307	965	643	484	286	242	241	221	178	171	155	149	140	115	104	-92
1 Energie	1 274	940	617	465	276	231	231	211	166	159	143	138	130	105	95	-93
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	1 178	870	542	403	238	195	205	187	147	139	124	122	112	92	86	-93
1 Industries de l'énergie	502	380	260	203	110	85	105	92	60	50	40	41	37	27	21	-96
2 Industries manufacturières et construction	355	285	173	121	90	78	72	66	62	63	61	58	54	45	46	-87
3 Transport	153	124	29	8,4	3,5	3,7	4,2	4,3	4,0	4,1	3,7	3,9	4,1	3,8	2,1	-99
4 Autres secteurs	166	80	79	68	33	26	23	24	20	20	19	18	17	16	15	-91
5 Autre	2,6	1,0	1,2	2,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	-75
B Emissions fugitives des combustibles	96	70	76	62	37	37	26	24	19	20	19	16	18	12	9	-90
2 Combustibles liquides et gazeux	96	70	76	62	37	37	26	24	19	20	19	16	18	12	9	-90
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	29,1	21,9	24,8	17,7	10,1	10,3	9,9	9,7	11,1	11,0	11,8	11,1	10,0	9,3	8,9	-70
B Chimie	21	13	14	7,6	4,3	4,5	3,8	3,8	4,1	3,3	4,5	3,9	3,4	2,9	2,4	-88
C Métallurgie	5,1	5,7	8,1	7,5	4,3	4,4	4,8	4,6	5,9	6,6	6,3	6,4	5,9	5,7	5,7	11
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants	0,204	0,175	0,036	0,007	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	-99
H Autre	2,6	3,0	3,1	2,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	-72
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	0,8	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	-79
H Autre	0,8	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	-79
5 Déchets	3,5	2,9	1,1	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	-89
C Incinération et brûlage de déchets	3,5	2,9	1,1	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	-89
Memo																
Soutes internationales	147	119	151	153	92	100	134	124	105	91	84	92	106	94	11	-92
Aviation	2,8	3,4	4,5	5,0	5,1	5,4	5,2	5,2	5,3	5,6	5,5	5,6	5,7	6,0	2,5	-8,6
Marine	144	116	147	148	87	95	129	119	100	86	78	87	100	88	9	-94

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Tableau 27 : Émissions de NO_x en France par catégorie CRFFRANCE (Périmètre Kyoto^(f))1990 - 2020 NO_x (kt)

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

serre/NOX.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	écart (%) 2020/1990
Total national (émissions nettes)	2 154	1 978	1 811	1 585	1 233	1 177	1 147	1 124	1 034	1 006	956	929	872	828	700	-68
1 Energie	2 023	1 864	1 697	1 483	1 142	1 087	1 057	1 035	944	915	864	836	781	737	613	-70
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	2 018	1 859	1 692	1 477	1 137	1 082	1 053	1 033	941	912	861	834	779	735	612	-70
1 Industries de l'énergie	176	155	180	194	132	115	117	114	73	65	60	66	59	47	40	-77
2 Industries manufacturières et construction	202	189	181	181	127	126	120	120	110	107	104	100	98	91	88	-56
3 Transport	1 333	1 224	1 031	819	647	634	612	596	578	569	542	518	483	465	358	-73
4 Autres secteurs	289	288	291	275	223	199	196	195	172	165	151	145	134	127	120	-58
5 Autre	18,5	2,1	7,5	8,2	7,8	9,3	7,9	7,8	7,4	7,1	4,8	4,8	5,1	5,3	4,9	-73
B Emissions fugitives des combustibles	5,0	5,1	5,4	5,2	4,9	4,7	4,0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,5	2,5	1,9	1,8	-64
2 Combustibles liquides et gazeux	5,0	5,1	5,4	5,2	4,9	4,7	4,0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,5	2,5	1,9	1,8	-64
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	25	16	15	13	7,7	7,1	7,2	7,7	7,4	7,5	7,3	7,1	7,0	7,0	6,3	-75
B Chimie	22	12	11	10	5,4	5,3	5,3	5,3	5,5	5,5	5,3	5,4	5,3	5,3	4,9	-77
C Métallurgie	1,5	1,7	2,2	1,9	1,2	0,8	0,8	1,3	0,9	0,9	1,0	0,8	0,8	0,7	0,6	-59
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants	2,0	1,9	1,6	1,2	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	-66
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	-55
3 Agriculture	78	72	75	69	65	64	64	63	65	65	65	65	65	64	61	-22
D Sols agricoles	73	67	70	65	62	61	61	61	62	63	63	63	62	61	58	-20
F Incinération des résidus de culture	4,7	4,6	4,7	3,8	3,1	2,9	2,8	2,5	2,5	2,5	2,3	2,4	2,3	2,4	2,3	-51
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	21	19	20	16	16	16	16	15	16	16	17	18	17	18	17	-17
A Forêts	15	13	14	11	11	11	11	10	11	11	12	12	12	12	12	-19
B Terres cultivées	2,4	2,4	2,1	2,1	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,0	2,0	-16
C Prairies	2,9	2,9	2,5	2,8	2,7	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,7	2,7	2,6	2,4	-15
D Terres 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	30
E Terrains bâtis	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	19
5 Déchets	6,7	6,7	4,7	3,7	2,7	2,6	2,6	2,2	2,5	2,3	2,2	2,3	2,1	2,5	2,4	-64
C Incinération et brûlage de déchets	6,7	6,7	4,7	3,7	2,7	2,6	2,6	2,2	2,5	2,3	2,2	2,3	2,1	2,5	2,4	-64
Memo																
Soutes internationales	239	224	300	294	277	294	282	266	241	226	219	230	252	236	119	-50
Aviation	39	44	62	73	77	80	80	81	83	86	86	89	93	96	40	4,1
Marine	201	179	238	221	200	214	202	185	157	140	133	141	159	139	78	-61

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Tableau 28 : Émissions de COVM en France par catégorie CRF

FRANCE (Périmètre Kyoto ^(f))1990 - 2020 **COVM (kt)**

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

serre/COVM.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	écart (%) 2020/1990
Total national (émissions nettes)	4 033	3 681	3 215	2 825	2 338	2 356	2 259	2 265	2 264	2 319	2 250	2 298	2 388	2 304	2 271	-44
1 Energie	1 753	1 428	990	645	394	334	332	326	277	272	264	248	232	225	199	-89
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	1 564	1 313	913	599	362	303	305	300	253	248	242	225	210	203	181	-88
1 Industries de l'énergie	6,9	5,4	3,5	3,5	2,7	2,7	2,9	2,8	2,6	2,9	3,2	3,1	2,5	2,5	2,4	-65
2 Industries manufacturières et construction	18	17	17	17	10	12	11	10,0	9,8	9,1	8,9	9,1	8,9	8,5	7,9	-57
3 Transport	967	741	476	256	127	115	105	96	89	84	78	73	68	64	54	-94
4 Autres secteurs	569	549	417	321	222	173	186	191	152	152	151	140	130	127	117	-79
5 Autre	2,2	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-88
B Emissions fugitives des combustibles	189	115	77	47	32	31	27	25	24	23	23	22	22	22	17	-91
1 Combustibles solides	33,5	22,5	9,0	0,4	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	-99
2 Combustibles liquides et gazeux	156	93	68	46	32	30	27	25	24	23	23	22	22	22	17	-89
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	754	674	677	553	444	425	385	382	406	380	367	371	359	360	356	-53
B Chimie	43	44	46	39	23	19	20	17	18	21	17	17	16	15	14	-67
C Métallurgie	1,6	1,6	2,0	1,7	1,5	1,4	1,3	1,4	1,5	1,3	1,2	1,3	1,3	1,4	1,1	-32
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants	412	341	323	266	149	156	136	131	131	129	119	105	106	111	106	-74
G Autres fabrication et utilisations de produits	260	252	270	209	233	208	188	193	215	188	189	204	193	189	192	-26
H Autre	37	35	36	38	38	40	40	40	40	41	42	43	44	44	41	13
3 Agriculture	416	422	413	401	389	398	389	391	398	403	399	401	405	395	391	-5,9
B Gestion des déjections animales	222	217	218	204	207	208	206	206	209	210	208	204	201	197	195	-12
D Sols agricoles	192	202	191	194	180	188	182	184	187	191	190	195	203	196	196	2,0
F Incinération des résidus de culture	2,5	2,4	2,6	2,2	1,7	1,7	1,7	1,3	1,4	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	-52
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	1 102	1 148	1 126	1 217	1 102	1 190	1 144	1 157	1 174	1 256	1 210	1 270	1 382	1 315	1 316	19
A Forêts	9,1	3,1	2,9	2,7	1,5	1,9	1,5	0,6	1,3	2,6	2,0	3,3	0,8	3,0	2,0	-78
H Autre	1 093	1 145	1 123	1 214	1 100	1 188	1 142	1 157	1 173	1 253	1 208	1 267	1 381	1 312	1 314	20
5 Déchets	7,9	9,0	9,3	9,6	9,3	9,1	9,0	9,2	9,0	8,7	8,8	8,9	9,1	9,5	9,4	18,9
A Installations de stockage de déchets non dangereux	5,0	6,0	6,4	6,6	6,2	6,0	5,7	5,7	5,4	5,0	4,9	5,0	4,9	4,9	4,8	-4,8
C Incinération et brûlage de déchets	2,8	2,9	2,8	2,9	3,0	3,0	3,2	3,4	3,5	3,7	3,7	3,8	4,1	4,4	4,6	61
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	6,3
Memo																
Soutes internationales	9,7	8,1	10,0	9,2	8,5	9,0	8,5	7,9	7,0	6,4	6,2	6,4	7,0	6,4	3,4	-65
Aviation	2,7	1,8	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,6	-77
Marine	7,0	6,3	8,4	7,8	7,0	7,5	7,1	6,5	5,5	4,9	4,7	4,9	5,5	4,9	2,8	-60

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Tableau 29 : Émissions de CO en France par catégorie CRF

FRANCE (Périmètre Kyoto^(f))

1990 - 2020 CO (kt)

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

serre/CO.xlsx

secteurs CCNUCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	écart (%) 2020/1990
Total national (émissions nettes)	11 802	9 961	7 360	5 848	4 724	4 025	3 733	3 752	3 254	3 224	3 285	3 264	3 129	3 108	2 793	-76
1 Energie	10 192	8 048	5 758	4 215	3 046	2 576	2 555	2 563	2 209	2 190	2 232	2 142	2 033	1 984	1 780	-83
A Conso. de combustible (approche sectorielle)	10 136	8 001	5 711	4 173	3 010	2 535	2 517	2 547	2 189	2 171	2 211	2 123	2 009	1 963	1 750	-83
1 Industries de l'énergie	39	33	27	24	25	27	28	27	23	28	34	37	30	33	30	-23
2 Industries manufacturières et construction	844	773	812	751	550	501	399	417	406	391	418	413	387	362	300	-64
3 Transport	6 528	4 636	2 819	1 608	839	717	667	605	534	503	479	461	436	423	353	-95
4 Autres secteurs	2 676	2 540	2 043	1 783	1 592	1 285	1 418	1 492	1 219	1 246	1 277	1 209	1 152	1 142	1 063	-60
5 Autre	50,4	19,9	9,4	7,4	4,4	5,5	5,1	5,1	5,8	3,8	3,2	3,2	4,3	4,0	3,7	-93
B Emissions fugitives des combustibles	56	47	48	42	36	41	38	17	20	20	21	19	25	21	30	-46
1 Combustibles solides	38	31	28	24	18	17	16	15	18	18	19	18	23	19	29	-23
2 Combustibles liquides et gazeux	17	16	20	18	18	24	22	1,9	2,0	1,7	1,5	1,4	1,6	1,8	0,9	-95
2 Procédés industriels, utilisation de solvants et autres produits	767	1 138	803	974	1 029	808	539	583	414	400	397	435	422	428	340	-56
B Chimie	9	10	12	10,3	8,0	7,1	8,4	8,3	3,5	3,6	3,5	3,6	3,4	3,4	3,0	-69
C Métallurgie	741	1 115	781	957	1 016	796	526	570	407	393	390	427	415	421	334	-55
D Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants	10	8	4,9	2,7	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,5	-95
H Autre	5,8	5,5	5,3	3,9	3,8	3,8	3,7	3,5	3,3	3,3	3,3	3,2	3,0	2,8	2,8	-53
3 Agriculture	86	84	89	63	55	51	50	44	43	43	38	41	39	42	38	-55
F Incinération des résidus de culture	86	84	89	63	55	51	50	44	43	43	38	41	39	42	38	-55
4 Utilisation des sols, Changement d'affectation des sols et sylviculture	742	676	696	583	580	576	575	546	571	574	601	629	615	634	613	-17
A Forêts	535	470	514	383	381	386	381	360	383	389	412	437	424	445	432	-19
B Terres cultivées	84	84	74	75	77	74	75	72	72	71	72	74	74	72	71	-16
C Prairies	103	104	91	100	97	92	94	90	91	90	93	95	95	93	87	-15
D Terres humides	2,4	1,8	1,9	3,2	2,5	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	30
E Terrains bâtis	17	16	15	22	22	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20	19
5 Déchets	15	15	14	14	14	14	15	16	16	17	17	17	19	20	21	38
C Incinération et brûlage de déchets	15	15	14	14	14	14	15	16	16	17	17	17	19	20	21	38
Memo																
Soutes internationales	32	29	36	34	32	34	32	31	28	27	26	27	29	28	14	-56
Aviation	13	12	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	6	-51
Marine	19	17	23	21	19	20	19	18	15	13	13	14	15	13	8	-60

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

Énergie (CRF 1)

L'utilisation de l'énergie hors biomasse représente, en 2020, 67 % des émissions de gaz à effet de serre en CO₂e hors UTCATF pour la France (périmètre Kyoto) alors qu'en ne considérant que les émissions de CO₂, l'utilisation de l'énergie hors biomasse représente à elle seule presque 90 % des émissions de CO₂ hors UTCATF. 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.

Cette catégorie est également largement prépondérante vis à vis des émissions de gaz à effet de serre indirect (UTCATF inclus) comme le SO₂ (91 %), les NO_x (88 %) et le CO (64 %). Elle contribue à un degré beaucoup moindre aux émissions de COVNM (9 %) en 2020.

En revanche, cette catégorie contribue seulement à hauteur de 9 % aux émissions de N₂O et de 4 % aux émissions de CH₄ hors UTCATF en 2020. Il n'y a pas d'émissions de HFC, PFC, NF₃ et SF₆ associées à cette catégorie dans le rapportage CCNUCC.

En 2020, le secteur des transports, et principalement le transport routier, ressort nettement quant aux émissions nationales de CO₂ avec 37 % des émissions hors UTCATF (périmètre Kyoto), malgré le net déclin comparativement à 2019 due principalement à la crise sanitaire, devant le secteur résidentiel/tertiaire et l'agriculture (24 %), l'industrie manufacturière (14 %), les industries de l'énergie (13 %) et les émissions fugitives des combustibles et les émissions autres (représentant chacune moins de 1 %).

Les émissions de CH₄, N₂O et COVNM du secteur énergie représentent des contributions aux totaux nationaux bien moins importantes que celles du CO₂. 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 51 % des émissions, suivi par le résidentiel/tertiaire et l'agriculture (17 %), puis l'industrie manufacturière (13 %) et l'industrie de l'énergie (6 %).

Concernant les émissions de CO (UTCATF inclus), elles sont issues à 38 % du secteur résidentiel/tertiaire et l'agriculture, à 13 % du transport et à 11 % de l'industrie manufacturière (partie énergétique). Le CO dans l'industrie de l'énergie et les émissions fugitives des combustibles est très marginal (1,1 % pour chacun de ces deux secteurs). 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 SO₂ (UTCATF inclus), en 2020, le secteur de l'énergie est prépondérant. En effet, la combustion regroupe 91 % des émissions totales (industrie manufacturière 44 % ; production d'énergie 20 % ; résidentiel/tertiaire et l'agriculture 15 % ; transport 2 % ; autres 1 %) tandis que les émissions fugitives de la distribution de pétrole et de gaz naturel représentent 9 % du total national.

Les émissions des industries de l'énergie, en particulier les centrales électriques, connaissent des fluctuations significatives au cours de la période 1990-2020 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 CO₂ du **transport** sont pour la première année inférieures au niveau de 1990 (-10 % entre 1990 et 2020). Néanmoins, 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 CO₂ biomasse hors total) et par une amélioration de l'efficacité énergétique du parc par l'introduction de véhicules moins énergivores et à énergie alternative (e.g., électricité). La crise sanitaire et les confinements correspondants ont eu un effet positif sur les émissions du transport avec une baisse drastique de 17 % entre 2019 et 2020. Pour les autres polluants, entre 1990 et 2020, les émissions du transport sont en baisse bien plus considérable :

- -99 % pour les émissions de SO₂, soit un recul de plus de 150 kt lié à l'évolution de la teneur en soufre des carburants,
- -95 % pour les émissions de CO,
- -94 % pour les émissions de COVNM soit une baisse de plus de 900 kt,
- -73 % pour les émissions de NO_x soit une baisse de 975 kt,
- -85 % pour les émissions de CH₄,
- sauf pour les émissions de N₂O (+18 %).

Pour toutes ces substances (sauf le CO₂ et le SO₂) 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 (CRF 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 direct, la baisse la plus importante est celle du N₂O (-97 % de 1990 à 2020). Ce secteur ne représente plus que 2 % des émissions de N₂O de la France (hors UTCATF) en 2020 contre 37 % en 1990. Cette importante réduction fait suite à la mise en place, à partir de 1998, de systèmes de traitement sur les installations de production chimique, seules contributrices du secteur industriel (acide adipique, glyoxylique et nitrique). Ainsi, de 2003 à 2004, une baisse de 30 % des émissions de la chimie a été observée. Depuis, les émissions continuent de baisser, suite à la diminution de la production d'acide nitrique.

Bien qu'elles ne soient pas significatives, étant donné leur très faible niveau (0,1 % du total national hors UTCATF en 2020), les émissions de CH₄, occasionnées par la production de noir de carbone et la métallurgie sont en baisse de 74 % de 1990 à 2020.

Les émissions de CO₂ baissent de 38 % de 1990 à 2020, pour atteindre environ 9 % des émissions de la France (hors UTCATF). Alors que les émissions de CO₂ de l'industrie étaient assez stables depuis 2010, une forte baisse a été observée en 2020, comparativement à 2019 (-15 %), très probablement due à la crise sanitaire et le confinement du printemps 2020. La baisse est observée à la fois dans la production de produits minéraux (-39 %) et dans la chimie (-17 %) suite à des diminutions de production principalement. Les émissions de la métallurgie sont assez fluctuantes sur la période mais en 2020 se situent 44 % en dessous de celles de 1990.

Les procédés industriels constituent également les uniques sources d'émissions de HFC, de PFC, de NF₃ et de SF₆, 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 indirect, il est à noter que la part relative la plus importante dans les émissions France (périmètre Kyoto), UTCATF inclus, en 2020 concerne le CO (12 %) et les COVNM (16 %), les parts des autres polluants dans les procédés industriels étant très faibles.

Ces émissions sont toutes orientées à la baisse entre 1990 et 2020 (NO_x -75 %, COVM -53 %, SO_2 -70 %, CO -56 %).

Concernant les COVM, les émissions proviennent en grande majorité de l'utilisation de solvants et d'autres produits (84 % des émissions du CRF 2 et 31 % des émissions totales de COVM en France en 2020 hors UTCATF). Les émissions de ces secteurs sont en baisse de 56 % en 2020 par rapport à 1990, soit une réduction de plus de 370 kt.

En termes d'émissions totales exprimées en CO_2 équivalent, ce secteur représente, en 2020, 10,2 % des émissions France (périmètre Kyoto) hors UTCATF.

Agriculture (CRF 3)

L'agriculture est le secteur prépondérant quant aux émissions de CH_4 et de N_2O avec respectivement 68 % et 87 % des émissions de la France (périmètre Kyoto) hors UTCATF en 2020. Les émissions de CH_4 du secteur sont en diminution de 12 % entre 1990 et 2020 et celles de N_2O ont régressé de 14 % sur cette même période.

La fermentation entérique (61 % en 2020 du total CH_4 en France au périmètre Kyoto hors UTCATF) et les déjections animales (7 % en 2020) constituent l'essentiel des sources émettrices de CH_4 de cette catégorie. Les émissions de la fermentation entérique sont en baisse entre 1990 et 2020 (-14 %) notamment dû à l'évolution du cheptel. Celles de la gestion des déjections animales sont en hausse en 2019 par rapport à 1990 (+10 %).

La baisse des émissions de N_2O provient principalement du secteur des sols agricoles (-14 % des émissions entre 1990 et 2020, alors qu'il représente 93 % des émissions du CRF 3 en 2020) et, en particulier, de l'épandage des engrais minéraux. En effet, la quantité d'engrais épandus entre 1990 et 2020 est en diminution.

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

Enfin, les sols agricoles sont émetteurs de COVM pour un peu moins de 200 kt en 2020 et sont relativement stables sur la série temporelle (environ 9 % des COVM totaux avec UTCATF en 2020).

L'agriculture participe pour une part non négligeable aux émissions de gaz à effet de serre en CO_2e de 2020 avec environ 18 % du total national hors UTCATF.

Utilisation des Terres, leur Changement et la Forêt (UTCATF) (CRF 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. La matière ligneuse forestière constitue un stockage de CO_2 passant de 40 Mt CO_2 en 1990 à 31 Mt CO_2 en 2020, constituant un recul de 21 % de ce puits de carbone, notamment lié à la hausse de la mortalité des arbres suite à des épisodes de sécheresses et sanitaires, 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 qui diminue entre 1990 et 2020, passant de 24 Mt CO_2e à 14 Mt CO_2e , avec un pic à 49 Mt CO_2e en 2006.

L'UTCATF est à l'origine d'émissions de CH₄ du fait de l'exploitation forestière (feux de résidus sur place mais aussi par le barrage de Petit Saut à partir de 1994). Les émissions sont en augmentation de 19 % entre 1990 et 2020.

Déchets (CRF 5)

Le traitement des déchets représente moins de 1 % des émissions totales de SO₂, de CO, de NO_x, de COVNM avec UTCATF en 2020. En 2020, le CO₂ du secteur représente 0,6 % des émissions nationales hors UTCATF et le N₂O moins de 2 % hors UTCATF. Les émissions de CH₄ associées au traitement de déchets représentent 28 % des émissions totales hors UTCATF en 2020. De plus, il faut noter que l'incinération avec récupération d'énergie est comptabilisée dans la catégorie CRF 1 Énergie.

Pour le CH₄, 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 22 % des émissions de CH₄ de la France (périmètre Kyoto) hors UTCATF en 2020 et plus de 77 % des émissions de CH₄ du secteur des déchets. Ces émissions de CH₄ sont en légère diminution de 4,8 % en 2020 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 sont 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 15 % des émissions de CH₄ de cette catégorie en 2020.

Il faut noter le développement de la filière du compostage des déchets dont les émissions de CH₄ et de N₂O, bien que faibles (7 % de la catégorie CRF 5 déchets pour le CH₄, et environ 36 % de la catégorie pour le N₂O), augmentent fortement entre 1990 et 2020 (respectivement de 359 % et 335 %).

Autres sources (CRF 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 du protocole de Kyoto et, pour mémoire, le CO₂ issu de la combustion dans le secteur « Énergie » de la biomasse qui est comptabilisé implicitement dans le secteur 4.

Soutes internationales

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

Dans le cas où les soutes internationales seraient incluses dans les émissions totales de la France au périmètre Kyoto hors UTCATF, celles-ci contribueraient, en 2020, à environ 3,7 % du CO₂, 15 % des NO_x, et 10 % du SO₂ (et moins de 1% pour le CH₄, le CO, les COVNM et le N₂O). 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 SO₂.

En ce qui concerne le trafic aérien international, les contributions françaises à ces émissions de CO₂ ont été estimées séparément pour les trafics intra Union européenne et hors Union européenne pour la Métropole, l'Outre-mer, ainsi que pour la France entière. Au niveau de la France entière, la contribution aux émissions de CO₂ des trafics intra Union européenne est d'environ 22 à 25 % du trafic international.

Tableau 30 : Contribution du trafic intra et hors Union européenne aux émissions de CO₂ du trafic international aérien relatif à la France

source Citepa Aérien.xlsx / format CCNUCC

		French international aviation - EU and non EU CO2 Contributions (%)																		
FAISCEAU		1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MT-Etranger UE	Total	25%	25%	24%	23%	23%	24%	24%	24%	23%	23%	23%	22%	23%	23%	24%	24%	24%	24%	22%
MT-Etranger hors UE	Total	75%	75%	76%	77%	77%	76%	76%	76%	77%	77%	77%	78%	77%	77%	76%	76%	76%	76%	78%
OM_UE-Etranger UE	Total	1,3%	14%	15%	5,4%	5,1%	6,5%	9,6%	7,5%	7,5%	7,8%	12%	9,7%	15%	16%	15%	13%	14%	16%	37%
OM_UE-Etranger hors UE	Total	99%	86%	85%	95%	95%	94%	90%	92%	92%	92%	88%	90%	85%	84%	85%	87%	86%	84%	63%
OM_nonUE-Etranger UE	Total	0,7%	5,3%	4,6%	1,6%	1,3%	1,6%	3,1%	3,1%	3,5%	3,7%	5,0%	2,9%	4,7%	5,3%	5,8%	6,6%	6,8%	7,3%	16,6%
OM_nonUE-Etranger hors UE	Total	99%	95%	95%	98%	99%	98%	97%	97%	97%	96%	95%	97%	95%	95%	94%	93%	93%	93%	83%
FR-Etranger UE	Total	24%	25%	24%	23%	23%	23%	23%	23%	22%	23%	23%	22%	22%	23%	24%	24%	24%	24%	22%
FR-Etranger hors UE	Total	76%	75%	76%	77%	77%	77%	77%	77%	78%	77%	77%	78%	78%	77%	76%	76%	76%	76%	78%

Opérations multilatérales

Cet item comptabilise les émissions de CO₂ des tirs de fusée Ariane (utilisation de propergol) sur le site ARIANESPACE à Kourou (Guyane). Les consommations de propergol sont confidentielles (un seul site de tir).

3 ENERGIE (CRF 1)

3.1 Présentation générale du secteur

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

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

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

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

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

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

Tableau 31 : Correspondance des secteurs bilan de l'énergie français / CRF

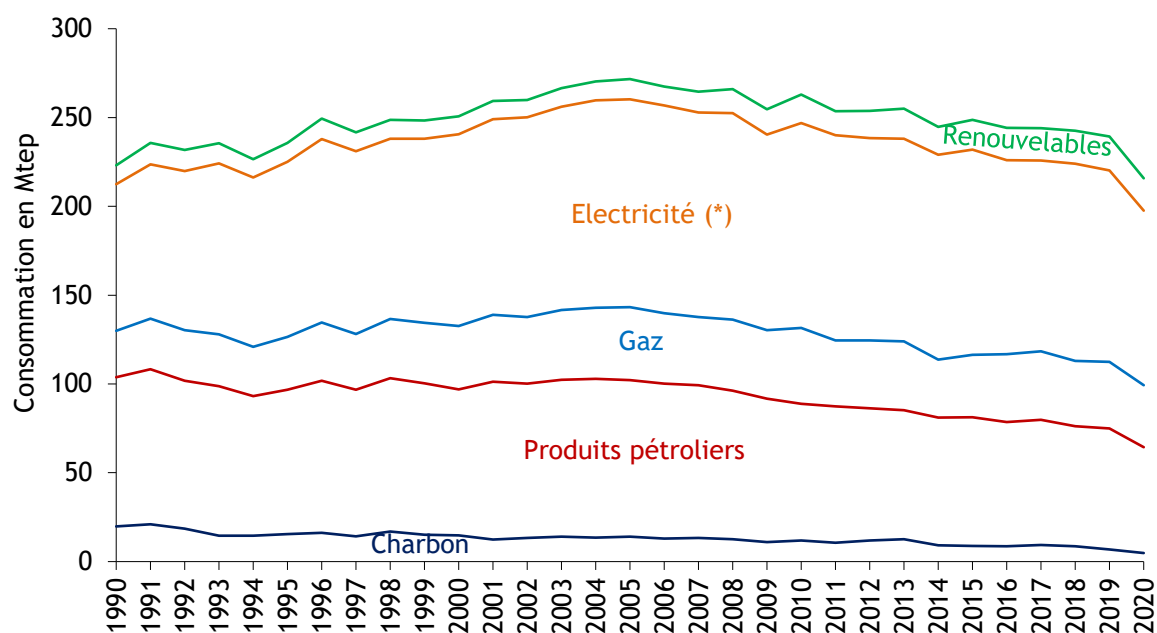
Secteur bilan énergie SDES	Secteur CRF
Consommation de la branche transformation	
<i>Centrales d'électricité / de cogénération / calogènes (activité principale et autoproduction)</i>	1A1a (production centralisée d'électricité et production centralisée de chaleur, production de chaleur du chauffage urbain, autoproduction d'électricité du chauffage urbain et UIDND avec récupération d'énergie), 1A2 (autoproduction d'électricité)
<i>Hauts-fourneaux</i>	1A2a, 1B1b, 2C (distinction entre les usages énergétiques et non énergétiques de CMS par bilan matière)
<i>Autres transformations</i>	1A1c
Consommation finale d'énergie	
<i>Sidérurgie</i>	1A2a, 1B1b, 2C (distinction entre les usages énergétiques et non énergétiques de CMS par bilan matière)
<i>Industrie (chimique, métaux non ferreux, produits minéraux, agroalimentaire, papier, construction, etc.)</i>	1A2 hors 1A2a
<i>Transports (hors soutes maritimes internationales)</i>	1A3, 1A4b (pour les EMNR essence et diesel routier uniquement)
<i>Commerce et services publics Résidentiel</i>	1A4a, 1A4b
<i>Agriculture / Sylviculture Pêche</i>	1A4c

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

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

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

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



(*) Electricité : nucléaire, hydraulique et éolienne, solaire, photovoltaïque et géothermie

source Citepa/format CCNUCC - mars 2022

Graph_1A.xlsx/Energie primaire

Alors que la tendance de consommations de la décennie 1990 était à la hausse de + 1,2 % par an en moyenne, la consommation d'énergie primaire a cessé de croître depuis 2005 avant de baisser nettement en 2009 à la suite de la crise économique. Depuis 2010, dans un contexte de stagnation de l'économie française, les variations des consommations sont notamment influencées par les effets climatiques, dont les impacts sont particulièrement visibles en 2014.

La structure du mix énergétique primaire de la France reste assez stable : 46 % d'électricité primaire, 28 % de pétrole, 16 % de gaz, 8 % de renouvelables thermiques (y compris déchets) et 2 % de charbon en 2020.

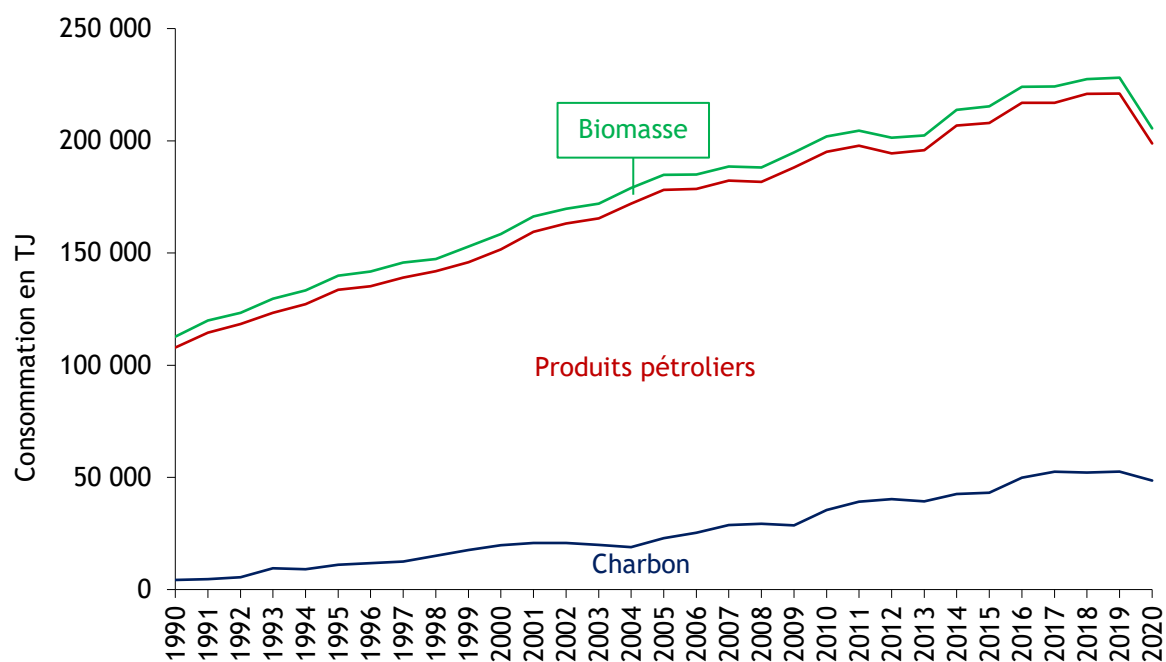
L'augmentation de la consommation globale d'énergie depuis 1990 a été absorbée en premier lieu par l'électricité, principalement d'origine nucléaire et hydraulique dite « non carbonée », dont la croissance est de 16 Mtep, soit +19 % entre 1990 et 2020. Les consommations des énergies renouvelables (+73 % soit 7,7 Mtep entre 1990 et 2020) et du gaz (+34 % soit 8,9 Mtep entre 1990 et 2020) sont à la hausse. La tendance au recul du pétrole se confirme au fil des ans (-29 %) tandis que celle du charbon est significative (-76 %). L'année 2020 est particulière car marquée par une baisse significative généralisée de la consommation énergétique de -10 % par rapport à 2019 en lien avec la crise sanitaire et le confinement.

Le bilan énergétique français est singulier étant donné l'importance du parc électronucléaire dont l'impact en termes de gaz à effet de serre est limité compte tenu de son origine.

En ce qui concerne l'Outre-mer, la situation observée est très différente. Un bilan annuel est réalisé sur la base des statistiques disponibles localement pour estimer les consommations de combustibles fossiles qui sont présentées dans la figure ci-dessous. Le niveau de consommation, bien que très inférieur à celui de la Métropole (l'ensemble Outre-mer ne représente que 2 % environ), est en augmentation soutenue depuis 1990 malgré une légère baisse en 2017. La consommation totale d'énergie en outre-mer est relativement stable entre 2019 et 2010 même si les consommations de charbon continuent d'augmenter (x 12 depuis 1990, x 2,7 depuis 2000 et x 1,8 depuis 2009). La crise sanitaire en 2020 a fait chuter les consommations de 10 % par rapport à 2019 selon les répartitions suivantes :

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

Figure 14 : Consommation de combustibles dans les territoires d’Outre-mer (non corrigée du climat)



source Citepa/format CCNUCC - mars 2022

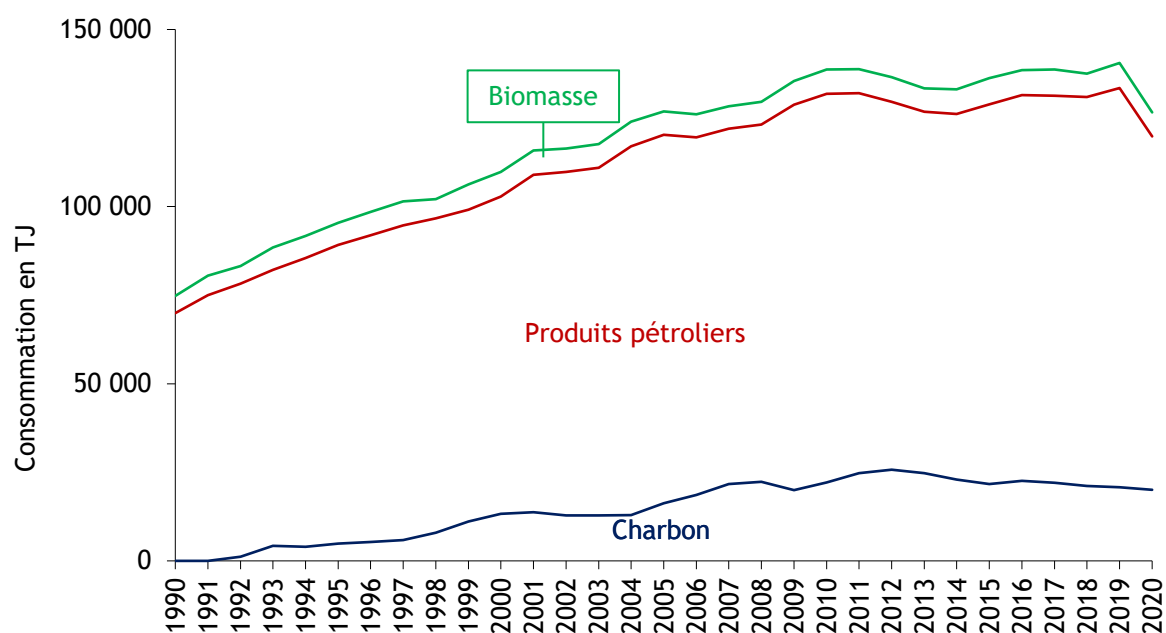
Graph_1A.xlsx/comb fossile OM

Tableau 32 : Consommation de combustibles dans les territoires d’Outre-mer (non corrigée du climat)

	Consommation en TJ			Total
	Charbon	Produits pétroliers	Biomasse	
1990	4 274	103 568	4 854	112 696
1991	4 597	109 829	5 430	119 856
1992	5 491	112 861	4 983	123 335
1993	9 464	113 923	6 265	129 652
1994	9 119	117 994	6 268	133 381
1995	11 083	122 554	6 303	139 940
1996	11 724	123 424	6 559	141 706
1997	12 471	126 530	6 764	145 764
1998	15 017	126 835	5 444	147 297
1999	17 662	128 144	7 110	152 916
2000	19 790	131 775	6 903	158 468
2001	20 814	138 545	6 873	166 232
2002	20 751	142 412	6 596	169 759
2003	19 922	145 442	6 663	172 027
2004	18 836	153 200	6 910	178 946
2005	22 883	155 255	6 654	184 791
2006	25 264	153 232	6 528	185 024
2007	28 789	153 489	6 288	188 567
2008	29 373	152 314	6 427	188 115
2009	28 633	159 500	6 677	194 810
2010	35 491	159 560	6 865	201 916
2011	39 208	158 608	6 717	204 533
2012	40 261	154 156	6 902	201 319
2013	39 312	156 543	6 542	202 397
2014	42 630	164 116	6 981	213 728
2015	43 167	164 725	7 426	215 319
2016	49 864	167 109	7 070	224 043
2017	52 520	164 362	7 365	224 247
2018	52 163	168 700	6 597	227 460
2019	52 498	168 536	7 079	228 112
2020	48 512	150 254	6 754	205 520

Les consommations d’énergie en Outre-mer pour les territoires du périmètre Kyoto 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.

Figure 15 : Consommation de combustibles dans les territoires d'Outre-mer au périmètre Kyoto (non corrigée du climat)



source Citepa/format CCNUCC - mars 2022

Graph_1A.xlsx/comb fossile OM

Tableau 33 : Consommation de combustibles dans les territoires d’Outre-mer au périmètre Kyoto (non corrigée du climat)

	Consommation en TJ			
	Charbon	Produits pétroliers	Biomasse	Total
1990	0	69 938	4 854	74 792
1991	0	75 048	5 430	80 478
1992	1 216	77 008	4 983	83 207
1993	4 279	77 911	6 265	88 455
1994	3 981	81 462	6 268	91 711
1995	4 854	84 295	6 303	95 452
1996	5 315	86 605	6 559	98 479
1997	5 862	88 835	6 764	101 460
1998	7 965	88 738	5 444	102 147
1999	11 157	88 017	7 110	106 284
2000	13 287	89 597	6 903	109 786
2001	13 720	95 238	6 873	115 831
2002	12 796	96 965	6 596	116 357
2003	12 872	98 101	6 663	117 636
2004	12 923	104 137	6 910	123 970
2005	16 260	103 976	6 654	126 890
2006	18 581	100 990	6 528	126 099
2007	21 652	100 344	6 288	128 284
2008	22 339	100 816	6 427	129 582
2009	19 980	108 758	6 677	135 416
2010	22 149	109 680	6 865	138 693
2011	24 774	107 289	6 717	138 781
2012	25 742	103 867	6 902	136 510
2013	24 741	102 082	6 542	133 364
2014	22 961	103 161	6 981	133 103
2015	21 650	107 215	7 426	136 291
2016	22 569	108 906	7 070	138 545
2017	22 049	109 283	7 365	138 698
2018	21 181	109 806	6 597	137 583
2019	20 749	112 724	7 079	140 552
2020	20 070	99 803	6 754	126 626

Tableau 34 : Émissions de gaz à effet de serre de l'ÉNERGIE

ÉNERGIE (périmètre Kyoto)			Secteurs-d.xlsx	
Polluants	1990		2020	
	Emissions en CO ₂ eq (kt)	% du total national hors UTCATF	Emissions en CO ₂ eq (kt)	% du total national hors UTCATF
CO ₂	351 435	88,2%	259 172	89,6%
CH ₄	12 404	17,9%	2 128	3,9%
N ₂ O	3 433	5,3%	3 430	9,5%
HFC	0	0,0%	0	0,0%
PFC	0	0,0%	0	0,0%
SF ₆	0	0,0%	0	0,0%
NF ₃	0	0,0%	0	0,0%
CO ₂ e	367 272	67,5%	264 730	67,4%

Source Citepa/ format CCNUCC - mars 2022

La consommation de combustibles fossiles est la première source d'émissions de CO₂, produit fatal de la combustion. Ainsi en 2020, environ 89,6 % des émissions de CO₂ en France au périmètre Kyoto proviennent de l'utilisation de l'énergie. Les parts des émissions de CH₄ et N₂O sont bien moindres avec respectivement 3,9 % et 9,5 % des émissions en 2020 (hors UTCATF). Cette catégorie représente plus de 67,4 % des émissions totales en CO₂e de la France au périmètre Kyoto (hors UTCATF) en 2020.

3.2 Consommation de combustibles (CRF 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 "sectorielle" et de "référence" (pour l'énergie). **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 CRF (voir tableau ci-après et annexe 7). L'approche dite de "référence" est appliquée sur les deux périmètres géographiques considérés (Kyoto et France entière). Ici, c'est le périmètre Kyoto qui est présenté. Pour l'énergie (CRF 1A), elle fournit des résultats plus ou moins proches de l'approche "sectorielle".

Tableau 35 : Comparaison des émissions de CO₂ de l'approche de référence et de l'approche sectorielle - périmètre Kyoto

Comparaison entre les approches de référence et sectorielle pour l'énergie - périmètre Kyoto			
	Approche de référence en kt CO ₂	Approche sectorielle en kt CO ₂ Kyoto (Métropole et DOM)	Ecart %
	A	B	A/B
1990	352 273	347 074	1,5
1991	367 456	373 551	-1,6
1992	345 743	364 327	-5,1
1993	342 130	347 140	-1,4
1994	318 666	340 226	-6,3
1995	332 516	345 694	-3,8
1996	359 879	361 560	-0,5
1997	334 691	353 460	-5,3
1998	366 490	372 913	-1,7
1999	359 114	372 087	-3,5
2000	349 155	366 225	-4,7
2001	368 965	372 892	-1,1
2002	363 850	368 798	-1,3
2003	369 103	374 794	-1,5
2004	371 933	374 641	-0,7
2005	373 196	377 276	-1,1
2006	360 498	366 011	-1,5
2007	352 987	355 614	-0,7
2008	353 895	353 767	0,0
2009	344 777	343 811	0,3
2010	346 055	346 148	0,0
2011	323 527	324 522	-0,3
2012	329 908	329 274	0,2
2013	326 326	329 287	-0,9
2014	295 177	297 780	-0,9
2015	303 693	304 214	-0,2
2016	304 795	307 113	-0,8
2017	310 108	308 741	0,4
2018	295 098	294 063	0,4
2019	291 121	288 791	0,8
2020	254 396	256 969	-1,0
Moyenne	337 662	342 541	-1,4

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 1990-2020, les écarts sont en moyenne de -1,4 % entre les deux approches (périmètre géographique Kyoto). Entre 2000 et 2020, l'écart moyen entre les deux approches est de -0,7 %. Ces écarts observés sont raisonnables par rapport aux recommandations du GIEC (5 %). Cependant, par rapport aux recommandations du MMR européen (2 %), certaines années sont à approfondir pour comprendre les raisons de ces écarts. En particulier, la période 1992-2000 révèle des écarts supérieurs à ± 2 %, l'approche sectorielle étant légèrement au-dessus de l'approche de référence. Dans les paragraphes suivants, des explications supplémentaires sont données par catégorie de combustibles quant aux éventuelles raisons des différences observées pour les données d'activités.

Dans le cas du gaz naturel par exemple, des écarts variant de 0 à 3 % 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 dues aux différences statistiques et à la ligne « distribution losses » qui correspond aux pertes lors du transport et de la distribution du gaz naturel (1B), qui ne sont pas considérées comme consommations énergétiques ou non-énergétiques, et aux consommations des stations de compression pour le transport du gaz (1A3e)(voir paragraphe « Gaseous fuels » ci-après). Or, les émissions pour le gaz naturel représentent entre 16 % (en début de période) et 30 % (dans les dernières années) des émissions globales de CO₂ liées à la consommation de combustibles, ce qui explique donc une partie des écarts sur le total. Depuis l'édition précédente, 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 étaient 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 CO₂ sont souvent relativement similaires aux écarts observés pour les données de consommations. 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 2010-2020 provenant de l'ETS et non égaux au bilan de l'énergie), et expliquent une partie des écarts observés.

Tableau 36 : 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

LIQUIDS	Consommations		Emissions CO2
	avec écart statistique	sans écart statistique	avec écart statistique
1990	-1,4%	2,7%	-0,4%
1991	2,0%	3,1%	2,9%
1992	6,7%	3,1%	7,6%
1993	1,7%	2,5%	2,6%
1994	7,7%	2,7%	8,5%
1995	6,2%	2,0%	6,8%
1996	1,7%	1,7%	2,2%
1997	6,5%	2,8%	7,1%
1998	2,9%	0,6%	3,4%
1999	4,6%	2,1%	5,0%
2000	6,4%	0,7%	6,6%
2001	0,8%	1,7%	1,1%
2002	1,9%	2,2%	2,3%
2003	3,3%	2,2%	3,7%
2004	1,9%	1,9%	2,4%
2005	1,9%	2,1%	2,4%
2006	2,1%	2,3%	2,5%
2007	1,0%	1,9%	1,2%
2008	0,4%	1,8%	0,4%
2009	0,0%	2,3%	-0,3%
2010	2,7%	2,6%	2,5%
2011	1,7%	5,1%	1,3%
2012	0,9%	3,0%	0,6%
2013	3,0%	4,5%	3,0%
2014	1,4%	4,0%	1,5%
2015	0,3%	4,0%	0,7%
2016	1,9%	3,8%	2,0%
2017	1,7%	3,7%	-0,4%
2018	0,8%	3,0%	0,7%
2019	-0,1%	3,7%	-0,4%
2020	1,7%	3,6%	1,2%

- Solid fuels : des écarts de -14 à +7 % 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 -3,4 %. Cependant, une grande part 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 0,7 % pour les consommations (variant de -3,7 % à +3,9 %) et -1,7 % pour les émissions (variant de -5,0 % à +0,5 %), et plus aucune valeur supérieure à ± 5 % n'est observée. Notamment, les écarts importants observés depuis 2010, de l'ordre de 10 % en consommations, sont alors ramenés aux alentours de 1 %.

Tableau 37: 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

SOLIDS	Consommations		Emissions CO2	
	avec écart statistique	sans écart statistique	avec écart statistique	sans écart statistique
1990	0,8%	2,2%	-2,2%	-0,9%
1991	3,2%	3,5%	0,3%	0,4%
1992	4,1%	3,6%	1,0%	0,5%
1993	2,5%	2,4%	-0,2%	-0,3%
1994	4,2%	3,7%	0,8%	0,4%
1995	-1,0%	-0,9%	-3,4%	-3,3%
1996	-2,5%	0,7%	-4,9%	-2,0%
1997	5,6%	1,5%	1,5%	-2,2%
1998	3,7%	2,5%	-0,1%	-1,1%
1999	4,0%	1,0%	0,3%	-2,3%
2000	6,7%	3,9%	2,8%	0,4%
2001	6,0%	-2,8%	2,5%	-5,0%
2002	1,9%	-0,6%	-2,2%	-4,5%
2003	-4,1%	1,4%	-7,0%	-2,1%
2004	-4,0%	2,2%	-6,4%	-1,1%
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%	-6,3%	-2,1%
2010	-8,1%	-0,8%	-8,0%	-1,7%
2011	-14,7%	0,0%	-13,7%	-1,3%
2012	-11,9%	-0,2%	-11,9%	-2,1%
2013	-11,7%	-0,2%	-12,4%	-2,5%
2014	-2,7%	2,3%	-4,7%	-0,9%
2015	-3,7%	0,1%	-4,9%	-2,2%
2016	-12,5%	-1,7%	-9,9%	-1,4%
2017	-5,8%	-1,4%	-3,7%	-0,4%
2018	-12,8%	-1,9%	-9,9%	-1,5%
2019	-14,0%	-3,7%	-8,6%	-1,4%
2020	14,8%	2,2%	8,3%	-1,2%

- Gaseous fuels : les écarts sont en général assez faibles (en moyenne -0,4 % pour la consommation et -0,0 % pour les émissions, par biais de compensation) sauf pour l'année 1990 qui présente des écarts supérieurs à 5 % en consommations et émissions. Une nouvelle fois, les écarts statistiques des bilans de l'énergie au format AIE expliquent une grande part des écarts importants observés (voir tableau ci-dessous). De plus, sur toute la période, et particulièrement entre 2003 et 2020, les écarts observés entre les deux approches varient toujours entre 0 et 1 %. Après analyse des consommations sectorielles de gaz naturel, il ressort que ces écarts proviennent des pertes de distribution (ligne « distribution losses » au format AIE), ce poste correspondant aux consommations des stations de compression (1A3ei) et à des fuites qui sont incluses dans les émissions fugitives pour l'inventaire (1B). 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 0,15 %.

Tableau 38 : 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

GASEOUS	avec écart statistique	Consommations	
		sans écart statistique	sans pertes de distribution (mais avec stations de compression)
		avec pertes de distribution	
1990	-5,6%	0,2%	0,04%
1991	-2,0%	0,2%	0,03%
1992	-0,4%	0,3%	0,04%
1993	-2,0%	0,3%	0,13%
1994	2,6%	0,6%	0,15%
1995	-1,9%	0,6%	0,14%
1996	-1,8%	0,6%	0,13%
1997	1,7%	0,6%	0,13%
1998	-2,6%	0,5%	0,11%
1999	0,6%	0,7%	0,14%
2000	-0,1%	-0,1%	0,13%
2001	-0,1%	-0,1%	0,13%
2002	0,0%	-0,1%	0,12%
2003	-0,7%	-0,4%	0,00%
2004	-0,9%	-0,8%	0,00%
2005	-1,2%	-0,8%	0,00%
2006	-0,6%	-0,7%	0,00%
2007	-0,9%	-0,9%	0,00%
2008	-1,0%	-0,2%	0,00%
2009	1,5%	-0,2%	0,00%
2010	-2,8%	-0,3%	0,00%
2011	2,2%	-0,6%	0,00%
2012	2,1%	-0,4%	0,00%
2013	1,4%	-0,8%	0,00%
2014	0,9%	-0,8%	0,00%
2015	0,1%	-0,8%	0,00%
2016	0,5%	-0,7%	0,00%
2017	-0,3%	-0,7%	0,01%
2018	-0,6%	-0,7%	0,01%
2019	-0,6%	-0,6%	0,03%
2020	-0,9%	-0,6%	0,04%

- Other fossil fuels : les écarts sur les émissions et les consommations sont très faibles (0,1 % et 0,2 % en moyenne, respectivement) 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 56 à 70 kg CO₂/GJ).

Tableau 39 : Comparaison des consommations et émissions des autres combustibles fossiles entre les approches de référence et sectorielle

OTHER FOSSIL FUELS	Activity data	CO2 emissions
1990	0,4%	0,2%
1991	0,4%	0,2%
1992	0,4%	0,2%
1993	0,3%	0,2%
1994	0,3%	0,2%
1995	0,3%	0,2%
1996	0,3%	0,2%
1997	0,3%	0,2%
1998	0,4%	0,2%
1999	0,3%	0,2%
2000	0,3%	0,1%
2001	0,8%	0,1%
2002	0,5%	0,1%
2003	0,4%	0,1%
2004	0,4%	0,1%
2005	0,2%	0,1%
2006	0,0%	0,0%
2007	0,0%	0,0%
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%

Un travail important a été réalisé pour cette soumission d'inventaire afin de réduire et comprendre les écarts observés entre les deux approches (sectorielle et de référence). Ce travail se poursuivra pour les prochaines soumissions.

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour cette section et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report/ paragraph	MS response / status of implementation
Energy	Fuel combustion - reference approach - solid and other fossil fuels - CO2 (E.6, 2019), (E.7, 2017) (E.22,	(a) Subtract the non-energy use of the fuels in the reference approach to have a consistent comparison with the sectoral approach; and (b) Properly identify and allocate the emissions from the	The Party reported in its NIR (p131-135) the actions taken to improve consistency between the reference and sectoral approach. The non-energy use of fuels has been subtracted from the reference approach and the emissions re-	2021 Review PMF* / E.3	Implemented. For other fossil fuels (see 2021 Review PMF* / E.4), the discrepancies between the reference and sectoral approaches for both emissions and activity data have been decreased significantly and are all below 1%. A table showing the

	2016) (E.22, 2015) Transparency	industrial gases by origin from the primary fuels, in line with the 2006 IPCC Guidelines and avoiding double accounting, and provide relevant explanations in the NIR.	allocated as recommended by the IPCC Guidelines. A significant part of the remaining discrepancies, as stated by the Party, could be explained by statistical differences. During the review, the ERT asked for clarification on the nature of the statistical differences and the Party clarified that it comes from the national energy balances and are defined in the AIE questionnaire as the differences between the calculated gross inland deliveries (calculated through the productions, imports, exports, bunkers, etc.) and the observed ones (where the consumptions are distributed among the different uses and sectors) The ERT welcome the continuing effort made by France to clarify the differences between reference and sectoral approaches and reiterates the recommendation from the previous review report.		discrepancies for other solid fuels specifically has been provided in the NIR 2022 March submission for other fossil fuels. For solid fuels, most of the discrepancies can be explained by the statistical differences from the French energy balances at the AIE format as analysed in the NIR.
Energy	Fuel combustion - reference approach - other fossil fuels - CO2 (E.7, 2019), (E.24, 2017) Transparency	Provide in the NIR information on the difference between the sectoral and reference approaches, that is, that the reference approach uses default EFs from the 2006 IPCC Guidelines whereas the sectoral approach uses country- or plant- specific EFs.	The Party reported in its NIR (p.135) some of the reasons for the difference between the two approaches for other fossil fuels and stated that since there are differences higher than 2 per cent, it will continue to analyse the issue and the overall explanation will be provided in the next submission. The ERT welcome the continuing effort made by France to reduce the differences between the reference and sectoral approach and reiterates the recommendation from the previous review report.	2021 Review PMF* / E.4	Implemented. For other fossil fuels, an additional analysis has enabled to reduce further the discrepancies between the reference and the sectoral approaches for the submission of 2022. Now, the differences for the activity data vary from 0.2 to 0.8% for 1990-2005 and are 0.0% after 2005, and for the emissions, the differences vary from 0.1% to 0.2% for 1990-2005 and are 0.0% afterwards. A table showing the discrepancies for other solid fuels specifically has been provided in the NIR 2022 March submission for other fossil fuels.

Energy	Fuel combustion - reference approach - liquid, solid, gaseous and other fossil fuels - CO2 (E.15, 2019) Transparency	Report in the NIR the reasons for any differences greater than 2 per cent between the reference and sectoral approaches for liquid, solid, gaseous and other fossil fuels, focusing on 2011 onward.	The Party provided in its 2021 NIR (p. 131-135) additional information to explain the highest discrepancies between the reference and sectoral approaches, for each type of fuel. It has also presented two tables comparing consumption and CO2 emission using the reference and the sectoral approaches for solid fuels (Table 36) and gaseous fuels (table 37), which enhances transparency. During the review, the Party clarified that it is preparing similar tables for liquid fuels and for other fossil fuels could be more complex than for solid fuels or natural gas because they encompass a wider diversity of fuel types. The ERT acknowledge the development of a new methodology to minimize the differences between sectoral and reference approach and reiterates the recommendation from the previous review report for liquid fuels and other fossil fuels.	2021 Review PMF* / E.7	Implemented. For the NIR March 2022 submission, the specific analyses of the discrepancies between sectoral and reference approaches for liquid and other fossil fuels have been added.
Energy	1.A Fuel combustion - sectoral approach - liquid fuels - CO2 (E.19, 2019) Transparency	update NIR table 38 with the EFs for diesel oil and domestic heating oil used in the emission calculations and include the relevant references from NIR table 38 in the reference list of the NIR. In addition, the ERT encourages France to review the OMINEA database to ensure that the information it contains corresponds with that in the NIR (after the update).	The Party reported in its NIR (p144-145) the methodology used to calculate CO2 EF for diesel, and it applied the same EF for domestic heating oil. The resulting value of 74,52 kg CO2/GJ was not included in Table 40, which resumes all EFs. During the review, the Party clarified that the EF for diesel can be used for domestic heating oil because they are similar and have the same carbon content. The Party informed also that it will include the EF value for diesel and domestic heating oil in Table 40 in the next submission. The ERT considers that the recommendation	2021 Review PMF* / E.10	Implemented. For the March 2022 submission, the table 40 has been corrected according to the review recommendation and an explanation of why the same EF for diesel and domestic heating oil can be applied is included above the table, in Chapter 3.2.3.2.

			has not yet been fully addressed because the Party has not yet included the EF value of 74,52 kg CO ₂ /GJ for diesel and domestic heating oil in Table 40 as well as the explanation why EF for diesel is applicable for domestic heating oil.		
Energy	Feedstocks, reductants and other non-energy use of fuels - solid fuels - CO ₂ (E.16, 2019) Comparability	Disaggregate the consumption of the non-energy use of solid fuels (coking coal and coke oven coke) used for non-energy use and correctly allocate the consumption of the different fuel types in CRF table 1.A(d).	The Party reported in its NIR (p.138) how non-energy fuels are disaggregated and allocated in CRF table 1.A(d). All the coking coal is considered under energy uses. The notation key "IE" was used correctly in table 1.A(d), but the correspondent information was not included in table 9. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet included the information on notation key "IE" in CRF table 9	2021 Review PMF* / E.8	Implemented. In the 2022 CRF table submission of March, the coking coal non-energy use notation key has been correctly annotated as NO as all consumption is considered for energy use, and the corresponding notation key "IE" in the CRF Table 9 has been removed accordingly.

3.2.2 Soutes internationales

Dans l'inventaire de GES, les émissions rapportées sur les postes soutes internationales (hors total national) concernent les émissions relatives à l'aviation civile internationale 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 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), de plus, 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 des 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 CRF 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 CRF concernent le périmètre Kyoto (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.

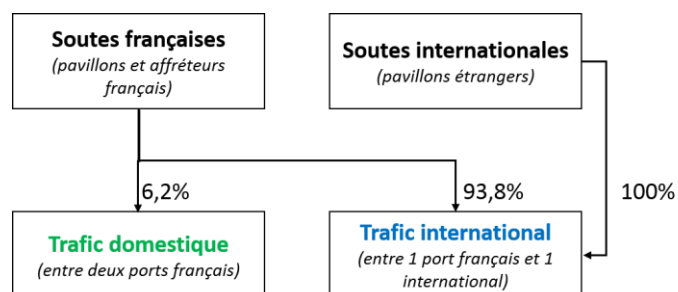
La distinction des trafics domestiques et internationaux réalisé par chaque type de soute est complexe à établir, car les données existantes ne permettent pas d'en faire durablement la séparation. L'absence de ces données est palliée par l'hypothèse d'une répartition inchangée, établie à partir des travaux réalisés par le Citepa en 2010, s'appuyant sur les données de trafic portuaires de l'année 2005.

En principe deux composantes contribuent au trafic maritime domestique :

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

Ainsi, pour la France métropolitaine, les consommations relatives au trafic maritime international sont estimées correspondre à 93,8% des « soutes françaises » ajoutées au total des « soutes internationales ».

Figure 16 : Répartition du trafic domestique et international pour la Métropole



Pour les Départements-Régions d'Outre-mer (DROM), les parts relatives de consommations de combustibles du trafic domestique vis-à-vis des consommations globales sont établies selon le bilan

d'énergie réalisé au Citepa et après consultations des observatoires d'énergie locaux. Ces valeurs sont les suivantes :

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

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

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

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

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

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
Energy	International bunkers and multilateral operations - liquid fuels (E.5, 2019) (E.8, 2017) (E.24, 2016) (E.24, 2015) Transparency	Explain in the NIR the discrepancies between the sectoral and the reference approaches for international aviation (jet kerosene) and international navigation (residual fuel oil and gas/diesel oil) reported in the CRF tables.	The Party reported in its NIR (p.135-137) many reasons for that difference and informed that those reasons identified are not sufficient to explain the discrepancies. The ERT welcome the continuing effort made by France to clarify the discrepancy and reiterates the recommendation from the previous review report	2021 Review PMF* / E.2	Efforts and discussion are still ongoing with the French service of statistics in charge of the energy balances for the AIE questionnaire in order to improve the comparability of the sectoral and reference approaches. The explanations provided in the NIR (P.146-147) are still valid and will be further developed.

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, obtenus 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 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 2B) mais pas pour les émissions de la sidérurgie où la distinction entre les usages énergétiques (rapportés en CRF 1A) et non énergétiques (en CRF 2) est réalisée pour des questions historiques. Ce dernier point est en cours d'investigation pour se mettre en cohérence avec la règle des lignes directrices. Cependant, afin de s'assurer de la complétude de l'inventaire, un rebouclage sur le total des consommations finales (énergétiques + non énergétiques) du bilan énergétique est assuré afin d'éviter toute omission ou double-compte des consommations et donc des émissions.

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

Combustibles solides :

En ce qui concerne les consommations de combustibles solides (charbon et coke de charbon), elles sont toutes rapportées en tant que consommations énergétiques dans le bilan de l'énergie du SDES. Dans l'inventaire, les usages énergétiques et non énergétiques sont distingués.

Les consommations de combustibles solides en tant que réducteurs ou intermédiaires sont considérées dans le code CRF 2C, pour les sites sidérurgiques et de production de ferro-alliages ainsi que pour la production de carbonates de sodium. Pour plus de détail sur les méthodologies mises en œuvre afin de distinguer les consommations et les émissions entre ces deux types d'usage, se reporter à la section « 2C Métallurgie » et « 2B7 production de carbonate de sodium ».

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

Combustibles liquides :

Les *produits pétroliers* à usage non énergétique sont essentiellement consommés sur les sites pétrochimiques. Ils font l'objet d'une enquête exhaustive de la part du SDES. Environ 14 % de la consommation française de produits pétroliers sont utilisés 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 énergétiques 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 CRF 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 CRF 1A3. Les émissions de l'utilisation d'huiles moteur dans les moteurs 4 temps sont, elles, rapportées dans la catégorie CRF 2D1. Les émissions des huiles récupérées et brûlées dans les procédés (i.e. cimenterie) sont prises en compte en CRF 1A2 et celles traitées en incinérateurs de déchets spéciaux, en CRF 5.

Combustible gazeux :

Les usages non énergétiques du *gaz naturel* pris en compte dans l'inventaire national sont la production d'ammoniac, d'hydrogène, de chlorométhane, d'acide cyanhydrique, d'alcools oxo et de sulfure de carbone. Les émissions de CO₂ associées sont comptabilisées dans la catégorie CRF 2B. Les consommations énergétiques de gaz naturel de ces mêmes sites sont prises en compte dans la catégorie CRF 1A2. La méthodologie appliquée est explicitée dans les sections relatives à ces secteurs.

3.2.3 Caractéristiques communes pour la combustion (1A)

3.2.3.1 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 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). À défaut, des valeurs moyennes types peuvent pallier cet inconvénient.

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^(a) 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 40 : Equivalence des unités d'énergie courantes

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

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

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

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

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

Tableau 41 : Détail des PCI utilisés dans les inventaires nationaux

Code combustible (NAPFUEc)	Désignation	MJ / kg	Source
101	Charbon à coke	26	[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	Brique 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	18	[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]

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

Code combustible (NAPFUEc)	Désignation	MJ / kg	Source
210	Naphta	45	[9]
212	Huile de moteur à essence	40,2	Analogie avec 219
219	Autres lubrifiants	40,2	[635]
222	Bitumes	40,2	[9]
224	Autres produits pétroliers (graisses, ...)	40,2	[9]
301	Gaz naturel	49,6	[2, 3]
31B	Biométhane	49,6	[2, 3]
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 CO₂, 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 CO₂ 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 CO₂ sont présentés dans la section générale énergie.

Il en résulte que les facteurs d'émission de CO₂ 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 CO₂ 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 CRF 2).

3.2.3.2 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 CO₂ 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/DREAL) 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 (SO₂, CO₂, HCl) dès lors que leur rétention éventuelle dans les équipements thermiques y compris les dispositifs d'épuration (dépoussiérage, désulfuration, déchloruration) n'altère pas la pertinence de cette approche.

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

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

Mesure :

$$E_s = \int_{t_1}^{t_n} C_s \times Q_v \times dt \quad (1)$$

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/Nm³)

Q_v : débit volumique d'effluents rejetés à l'atmosphère (en Nm³/h)

$t, t_1...t_n$: intervalles de temps relatifs à C_s et Q_v . (en h)

Bilan :

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

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 → SO₂, C → CO₂).

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 CO₂, 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 CO₂

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 CO₂ dit "ultime", c'est-à-dire le CO₂ correspondant à toutes les formes d'oxydation (CO notamment) qui s'observent généralement à des concentrations très inférieures à celles du CO₂ 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 CO₂ y compris en tenant compte du facteur d'oxydation.

En l'absence actuellement de dispositif de récupération du CO₂ sur les installations de combustion, l'estimation des émissions de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ du gaz naturel (NAPFUE 301), celui-ci est déterminé à partir des données de déclarations des établissements ICPE en charge de l'acheminement du gaz en France métropolitaine (interconnexions gazières aux frontières et terminaux méthaniers) [19].

Les facteurs d'émission de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ pour le gazole/GNR sont donc également valables pour le fioul domestique.

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

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

Tableau 42 : facteurs d'émission 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	91,3 - 102,2	94,6	[638]
102	Charbon vapeur	87,4 - 99,8	94,6	[638]
103	Charbon sous-bitumineux	87,0 - 96,1	96,1	[638]
105	Lignite	97,0 - 101	101	[638]
107	Coke de houille	106,3 - 107,6	107	[638]
110	Coke de pétrole	87,8 - 97,5	variable selon les années	-
111	Bois et assimilé	90,0 - 128	96,8 (0 pour certaines applications)	[766]
116	Déchets de bois	92,0 - 107,1	96,8 (rapporté pour information)	Idem bois (111)
117	Déchets agricoles	69,2 - 122,5	99 (rapporté pour information)	[765]
118	Boues d'épuration		110 (rapporté pour information)	[50]
203	Fioul lourd HTS / BTS / TBTS	70,1 - 83,1	78	Moyenne calculée selon %s et FE de [3]
204	Fioul domestique	64,7 - 83,8	74,52	Idem Gazole (205)
205	Gazole / GNR		74,52	Cf. méthode décrite ci-dessous
206	Kérosène ou Pétrole lampant	73,3 - 73,5	73,3	[682]
208	Essence	Cf. méthode décrite ci-dessous		
214	Solvants usagés		82,3	Moyenne des FE déclarés 2014- 2019 [19]
215	Liqueur noire		95,3 (rapporté pour information)	[638]
222	Bitumes	83,9 - 96,1	80,7	[638]
224	Autres produits pétroliers (graisses, etc.)	67,3 - 86,8	73,3	[638]
301	Gaz naturel type H (Lacq) / B (Groningue)	52,3 - 58,9	Variable selon les années	-
31B	Biométhane	Cf. gaz naturel ci-dessus		
303	Gaz de pétrole liquéfié	51,0 - 71,1	63,1	[638]
304	Gaz de cokerie	39,1 - 45,7	45,6	[50]
305	Gaz de haut fourneau	196 - 317	274,1	[50]

Code NAPFUEc	Désignation	Intervalle sectoriel observé dans l'inventaire depuis 1990	Valeur nationale	Source
		kg CO ₂ / GJ y compris facteur d'oxydation		
308	Gaz de raffinerie / pétrochimie	49,6 - 74,6	57,6	[638]
309	Biogaz		110 (rapporté pour information)	Calcul théorique selon %c moyen
312	Gaz d'aciérie	189 - 190	188,7	[50]

Cas particulier des facteurs d'émission de CO₂ liés à la combustion du gazole/GNR (NAPFUE = 205) et de l'essence (NAPFUE = 208)

Chaque année, la DGE (Direction générale de l'énergie et du climat du Ministère de la Transition Ecologique) 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).

représentatives de la qualité des carburants vendus en France métropolitaine (vérifiée avec les analyses sur toute la France). Dans chaque macro-régions, 22 stations-service sont contrôlées en hiver et 22 autres en été, soit 88 stations-service contrôlées sur l'année.

Les prestations ont été réalisées entre le 30 janvier 2017 et le 31 mars 2017 pour la qualité hiver et entre le 15 mai 2017 et le 30 juin 2017 pour la qualité été. Les mesures des teneurs en carbone, oxygène et hydrogène ont été réparties sur chaque période et dans chaque région, soit environ une station contrôlée sur 2 :

- SP95/SP98-E5 : 23 prélèvements en hiver - 30 en été
- SP95-E10 : 23 prélèvements en hiver - 28 en été
- Gazole : 24 prélèvements en hiver - 29 en été

Les mesures ont donné les résultats suivants :

	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 CO₂ du mélange (produits pétroliers + agro-carburants) $FE_{mélange_mesure}$ sont connus en appliquant la formule suivante :

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

Les facteurs d'émission de CO₂ des produits pétroliers FE_{pp} sont recalculés en supposant que les facteurs d'émission de CO₂ FE_{bio} et les pourcentages d'incorporation $\%_{bio}$ des agro-carburants sont connus :

$$Vente_{pp+bio} \cdot FE_{mélange_mesure} = Vente_{pp+bio} \cdot (FE_{pp} \cdot \%_{pp} + FE_{bio} \cdot \%_{bio})$$

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

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

Les FE_{pp} ont été calculés pour les carburants hiver et les carburants été. Des FE_{pp} moyens (au prorata des ventes mensuelles de 2017) ont été estimés et sont les suivants :

	Essence sans plomb	Gazole
FE_{pp} (g CO ₂ /g carburant)	3,189	3,175
FE_{pp} (kg CO ₂ /GJ)	72,48	74,52

Pour obtenir le facteur d'émission de l'essence plombée, une évolution du ratio R_{H:C} entre l'essence plombée et l'essence non plombée proportionnelle à l'évolution de ce ratio dans COPERT a été utilisé.

	g CO ₂ /g carburant	kg CO ₂ /GJ
Essence plombée	3,243	73,71

Les facteurs d'émission spécifiques à la France (gazole et essence) sont appliqués partout où du gazole, du GNR ou de l'essence sont utilisés, c'est à dire :

Gazole/GNR : 1.A.2/ 1.A.2.f/ 1.A.3.b/ 1.A.3.c/ 1.A.3.d/ 1.A.4.a/ 1.A.4.b/ 1.A.4.c.ii/ memo.1.D.1.b

Essence : 1.A.2/ 1.A.3.b/ 1.A.3.d/ 1.A.4.b/ 1.A.4.c.ii/ 1.A.4.c.iii

B. Cas des agro-carburants

L'estimation des émissions de CO₂ issues de la combustion des agro-carburants est réalisée en intégrant dans le calcul des émissions des différents secteurs consommant de l'essence ou du gazole (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 CO₂ issues des agro-carburants sont exclues du total des émissions des gaz à effet de serre dans le cadre de la convention sur les changements climatiques.

Les taux d'incorporation donnés dans la base de données OMINEA, correspondent à la partie biogénique des agro-carburants (bio-essence et bio-gazole).

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 (EMAG⁸ 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.

Les livraisons de carburants étant fournies comme étant les livraisons de mélanges (essence+bio-essence et gazole+bio-gazole), le calcul des pourcentages massiques et/ou volumiques 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 des 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 TGAP⁹.

Les données pour calculer les facteurs d'émission de CO₂ de chaque agro-carburant sont issues de l'ADEME [361].

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]) :

$$FE_{CO_2 \text{ bioessence}} = 52,2 \% \times 44,011 / 12,011 = 1,913 \text{ tCO}_2/\text{t bioessence}$$

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).

Le facteur d'émission de la partie bio des EMAG (considéré comme étant fabriqué à partir d'huile de tournesol) est déterminé à partir du contenu carbone bio des EMAG (69,7 % [361]) :

$$FE_{CO_2 \text{ EMAG}_{\text{bio}}} = 69,7 \% \times 44,011 / 12,011 = 2,554 \text{ tCO}_2/\text{t EMAG}_{\text{bio}}$$

Le facteur d'émission du biogazole de synthèse est déterminé à partir du contenu carbone (considéré à 100% bio) du produit (85,6 % [1022]) :

$$FE_{CO_2 \text{ bio-gazole de synthèse}} = 85,6 \% \times 44,011 / 12,011 = 3,138 \text{ t CO}_2/\text{t bio-gazole de synthèse}$$

Caractéristiques	ETBE	Ethanol	Huile de colza	Huile de tournesol	EMHV colza	EMHV Tournesol
Pci (MJ/kg)	35.88	26.8	37.2	37.7	37.39	37.02
Source	DIREM IFP	DIREM IFP	Sofiproteol	Sofiproteol	Sofiproteol	Sofiproteol
Contenu en C fossile (% massique)	45.6%	0%	0%	0%	3.6%	3.6%
Contenu en C biomasse (% massique)	24.5%	52.2%	77.0%	77.0%	69.7%	69.7%

Tableau 2 : PCI et contenu en carbone des différents produits

Données utilisées pour la détermination des FE ([361] p15)

⁸ EMAG = Esther méthyl d'acide gras (esther méthyl d'huile végétal et esther méthyl d'huile usagée)

⁹ Circulaire du 9 mars 2012 relative à la taxe générale sur les activités polluantes/prélèvement sur les carburants

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.

Les agro-carburants de synthèse sont considérés comme 100 % bio.

Répartition des agro-carburants de l'essence mis à la consommation	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
% ETBE	97%	70%	57%	54%	51%	43%	43%	43%
% Ethanol	3.3%	30%	40%	39%	40%	48%	48%	55%
% Bioessence de synthèse	0%	0%	2.3%	7.3%	8.9%	8.4%	8.1%	2,0%
% bio dans les agro-carburants de l'essence	49%	63%	70%	72%	73%	77%	77%	77%

Répartition des agro-carburants du gazole mis à la consommation	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
% EMAG totaux	100%	99%	94%	92%	89%	88%	80%	91%
% Biogazole de synthèse	0%	1.1%	5.6%	7.8%	11%	12%	20%	9,2%
% bio dans les agro-carburants du gazole	94.8%	94.9%	95.1%	95.2%	95.4%	95.5%	95.9%	95,3%

L'ensemble des données relatives aux agro-carburants sont disponibles dans la base de données OMINEA.

Emissions de CH₄

Les émissions dépendent des conditions d'exploitation, du type d'équipement thermique, du combustible et des dispositifs d'épuration.

Compte tenu du faible niveau des émissions, elles sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par défaut provenant du GIEC 2006 [638].

Dans le cas des installations de chauffage urbain, du secteur résidentiel et du secteur tertiaire, des facteurs d'émission spécifiques sont utilisés (se reporter aux sections correspondantes), notamment pour la biomasse.

Les facteurs d'émission présentés dans la base de données OMINEA sont utilisés pour la Métropole et l'Outre-mer.

Emissions de N₂O

Les rejets de N₂O 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 N₂O sont déterminées la plupart du temps au moyen de facteurs d'émission par défaut provenant du GIEC 2006 [638].

Les facteurs d'émission présentés dans la base de données OMINEA sont utilisés pour la Métropole et l'Outre-mer.

Emissions de Gaz fluorés

La combustion n'engendre pas d'émission de gaz fluorés à effet de serre.

Toutefois, certaines sources associées à l'utilisation et à la distribution de l'énergie (climatisation, disjoncteurs, etc.) qui utilisent certains de ces composés constituent des émetteurs qui sont traités séparément dans les sections relatives aux codes CRF 2F.

3.2.4 Industrie de l'énergie (1A1)

3.2.4.1 Caractéristiques de la catégorie

3.2.4.1.1 Production centralisée d'électricité, chauffage urbain et UIDND avec récupération d'énergie (1A1a)

Les niveaux d'émissions de CO₂ (hors UTCATF) de la catégorie 1A1a comptent parmi les catégories clés pour tous les combustibles.

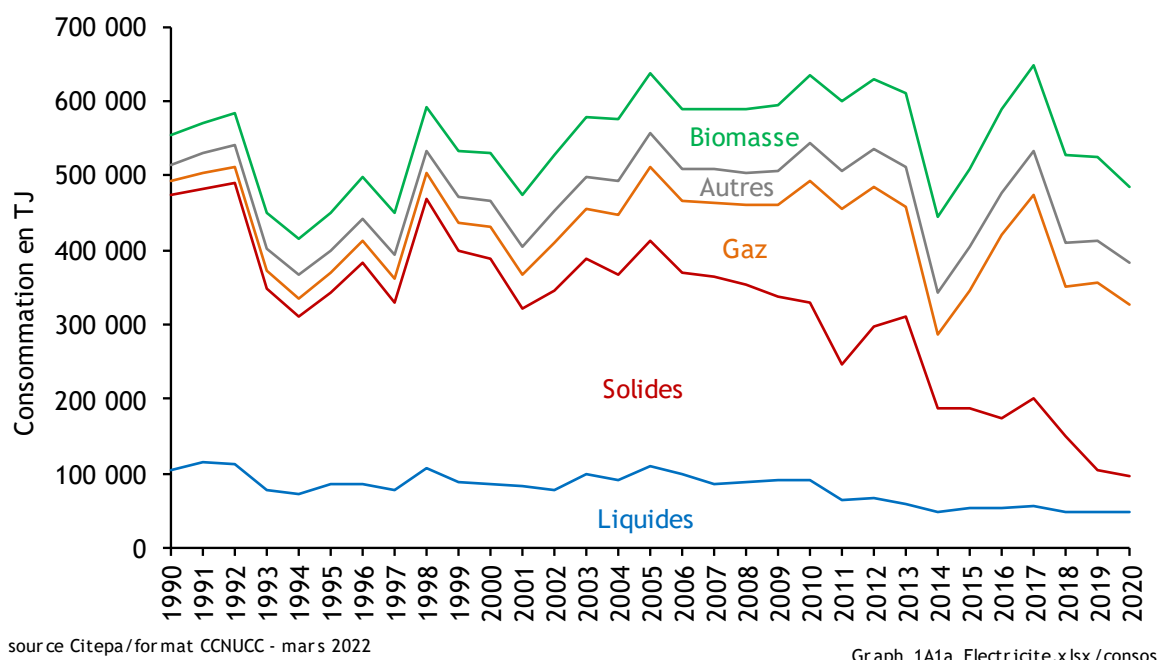
Par le CO₂ émis (tous combustibles confondus), ce secteur en 2020 contribue à 7,5 % en niveau d'émission et à 20,0 % en évolution. Les sources clés en contribution au total ou à son évolution par combustible et par substance sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 43 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1a est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A1a - gas	CO ₂	6 ^{ème}	3,3%	3 ^{ème}	6,1%
1A1a - other fossil fuel	CO ₂	14 ^{ème}	1,7%	10 ^{ème}	2,5%
1A1a - coal	CO ₂	16 ^{ème}	1,6%	2 ^{ème}	10,3%
1A1a - oil	CO ₂	24 ^{ème}	0,9%	22 ^{ème}	1,1%

Le graphique ci-dessous présente les consommations 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 Kyoto)



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 dans 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 européen 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 charbon afin d'anticiper 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, ENR) 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 climatique est particulièrement visible sur les années 2011 ou 2014.

En 2020, année qui a été marquée par la crise sanitaire liée à la propagation de la Covid-19 et par les confinements, la consommation du secteur 1A1a a baissé de 8 % par rapport à l'année 2019, sans pour autant atteindre un niveau de consommation semblable à 2014.

Les centrales thermiques électriques

L'importance du parc électronucléaire de production d'électricité en France métropolitaine, complété par les productions d'origines hydroélectrique, éolienne, etc. ne laisse qu'une relative faible part à la filière thermique à flamme qui ne contribue à hauteur que de quelques pourcents de l'électricité produite sur le territoire national [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 CRF 1A2 et 1A1a.

Le tableau suivant illustre les contributions des différentes filières à la production nationale d'électricité y compris l'autoproduction.

Tableau 44 : Production brute d'électricité en Métropole (y compris autoproduction)

	Production brute et consommation d'électricité en TWh - Métropole										Graph_1A1a.xls/Électricité
source Citepa / format CCNUCC - mars 2022	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Production nationale	421	494	540	576	569	572	556	554	574	563	526
Hydraulique, éolien et photovoltaïque	54	74	67	53	74	84	90	83	103	103	116
Thermique nucléaire	314	377	415	452	429	437	403	398	413	399	354
Thermique classique	49	40	53	67	62	45	58	67	52	56	51
Solde des échanges	-45	-70	-69	-60	-31	-64	-42	-40	-63	-58	-45
Importations	7	3	4	8	19	10	20	21	14	16	20
Exportations	-52	-73	-73	-68	-50	-74	-61	-61	-76	-73	-65
Pompages et Consommation des auxiliaires	-26	-29	-32	-35	-34	-15	-15	-15	-16	-15	-15
Consommation (1)	349	395	438	481	504	493	499	499	495	490	466

(1) Consommation intérieure ou énergie appelée, non corrigée du climat

Source : SDES

En Métropole, le nombre de sites tend à rester à peu près stable depuis 1990 autour d'une trentaine. Les sites de la Métropole sont majoritairement équipés de chaudières charbon et fioul lourd. Mais depuis 2005, cette situation tend à s'inverser progressivement avec la mise en service d'une dizaine de nouvelles centrales au gaz et la fermeture progressive des centrales charbon et fioul lourd. Les équipements constitués principalement de chaudières qui consommaient 99 % de l'énergie entrante en 1990 voient leur part passer à environ 40 % ces dernières années avec la mise en service des nouvelles centrales au gaz depuis 2005 [19, 20, 21].

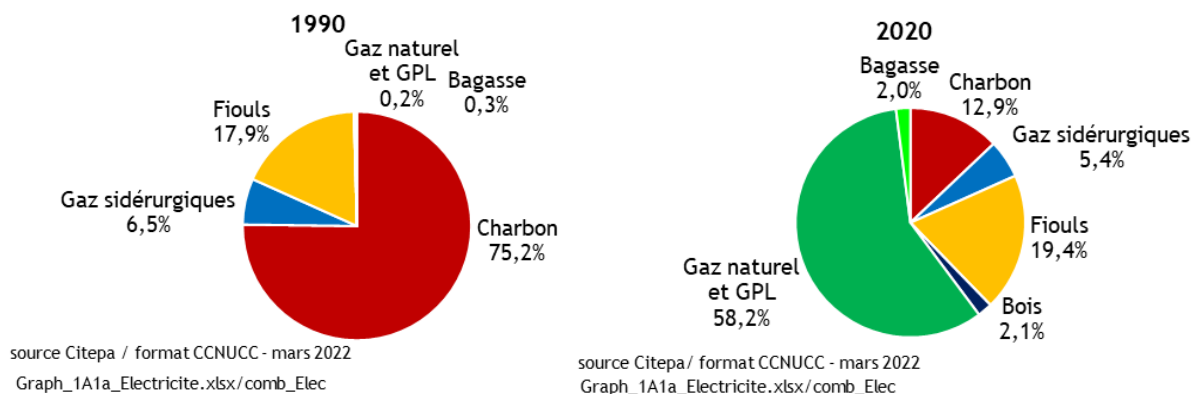
La part de biométhane consommé est retranchée de la consommation de gaz naturel à partir des données du bilan énergétique annuel [34] et des publications annuelles du panorama du gaz renouvelable [1112].

En Outre-mer, le nombre total de sites est aussi d'environ une trentaine mais les équipements présents sont très différents de la Métropole. En effet, ces sites sont équipés majoritairement de moteurs et/ou de turbines [35, 36, 37, 38]. Certains sites consomment de la biomasse, notamment de la bagasse (résidus de la canne à sucre) ou bien du bois importé, afin de produire de l'électricité.

Le parc thermique français est donc constitué au total par plus d'une vingtaine de chaudières, une douzaine de turbines et une trentaine de moteurs.

Les centrales thermiques électriques ont consommé environ 5,8 Mtep d'énergie en 2020, dont 0,12 Mtep de bagasse (combustible biomasse provenant de résidus de canne à sucre). Les figures suivantes présentent la répartition des consommations de ces installations en 1990 et 2020.

Figure 18 : Distribution des combustibles pour la production d'électricité thermique (périmètre Kyoto)



Depuis 1990, la part des CMS (dont gaz sidérurgique) a chuté de 82 % à 18 % au profit du fioul dans un premier temps puis du gaz naturel depuis 2005 (soit ensemble, 77,6 % de la consommation totale en 2020). La bagasse est uniquement consommée dans les territoires d’Outre-mer.

Quelques faits sont à signaler pour expliquer les tendances :

- d’une part, en 2004, l’arrêt d’une tranche consommant des gaz sidérurgiques (gaz de hauts-fourneaux en particulier). Cet arrêt explique la baisse des consommations de ces gaz,
- d’autre part, la mise en service et la montée en puissance, depuis 2005 sur le sol métropolitain, de plusieurs turbines à combustion ou de cycles combinés gaz (CCG) expliquent l’augmentation de la consommation de gaz naturel,
- de plus, 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 N₂O sont importantes.
- enfin l’arrêt progressif d’une partie des centrales thermiques à charbon en France métropolitaine depuis 2013.

Les installations de chauffage urbain

Il y a en France métropolitaine plus de 650 installations de chauffage urbain alimentant plus de 800 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 en 1990 et 2,2 Mtep en 2020. Cette consommation est variable selon les années et dépend notamment de la rigueur climatique. Cependant, on peut noter le développement de la cogénération depuis le début des années 2000 qui induit un niveau de consommations plus élevé qu’en 1990 (où seule la production de chaleur existait).

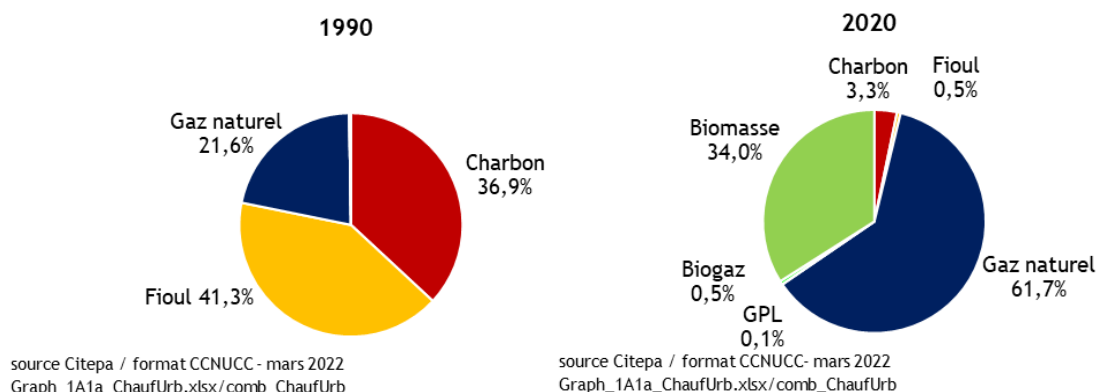
Tableau 45 : Production du chauffage urbain en Métropole

	Nombre de réseaux	Chaleur vendue (GWh)	Electricité vendue (GWh)
1990	366	22 594	-
1992	372	25 114	-
1993	373	24 840	-
1994	377	24 157	-
1995	379	23 695	584
1997	375	24 300	957
1999	392	23 846	1 562
2002	394	23 212	4 279
2005	391	24 470	5 307
2006	391	24 340	5 800
2007	425	23 133	5 471
2008	427	25 256	5 791
2009	432	24 949	5 064
2010	436	26 505	4 833
2011	473	21 807	4 530
2012	384	23 356	4 740
2013	411	24 920	3 921
2014	536	20 485	2 736
2015	607	22 769	3 403
2016	669	24 643	3 671
2017	761	25 078	4 263
2018	781	25 394	4 317
2019	798	25 560	3 599
2020	833	25 365	3 266

source SNCU Graph_1A1a_ChauUrb.xlsx / ChauUrb

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 62 % de la consommation énergétique totale du secteur entre 1990 et 2020. Le recours à la biomasse se développe également de façon notable : sa contribution est passée de 0,2 % à 34 % des consommations totales entre 1990 et 2020.

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



Les UIDND (usines d'incinération de déchets non dangereux) avec récupération d'énergie

Environ 125 sites d'incinération de déchets non dangereux recevant des déchets ménagers étaient recensés en Métropole dont 2 sites en Outre-mer (Martinique et St Barthélemy). Parmi ces sites, près d'une dizaine sont sans récupération d'énergie, et traitent moins de 100 000 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 disparaître peu à peu au profit notamment de l'incinération avec récupération d'énergie et ne devrait plus exister à partir de 2025 [608].

3.2.4.1.2 Raffinage du pétrole (1A1b)

En 2020, cette catégorie occupe les 21^{ème} (1,1%) et 38^{ème} rangs (0,3%) des catégories clés pour sa contribution au niveau des émissions hors UTCATF du fait du CO₂ émis par la consommation de fuel et de gaz.

Les sources clés en contribution au total ou à son évolution par combustible et par substance sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 46 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1c est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A1b - oil	CO ₂	22 ^{ème}	1,0%	12 ^{ème}	2,2%
1A1b - gas	CO ₂	39 ^{ème}	0,3%	35 ^{ème}	0,6%

Il y a actuellement 9 raffineries déclarant une activité en France dont une située en Martinique et une récemment reconvertie en bioraffinerie (site de La Mède).

Les sites de raffinage ont connu des modifications de capacité au cours des années écoulées.

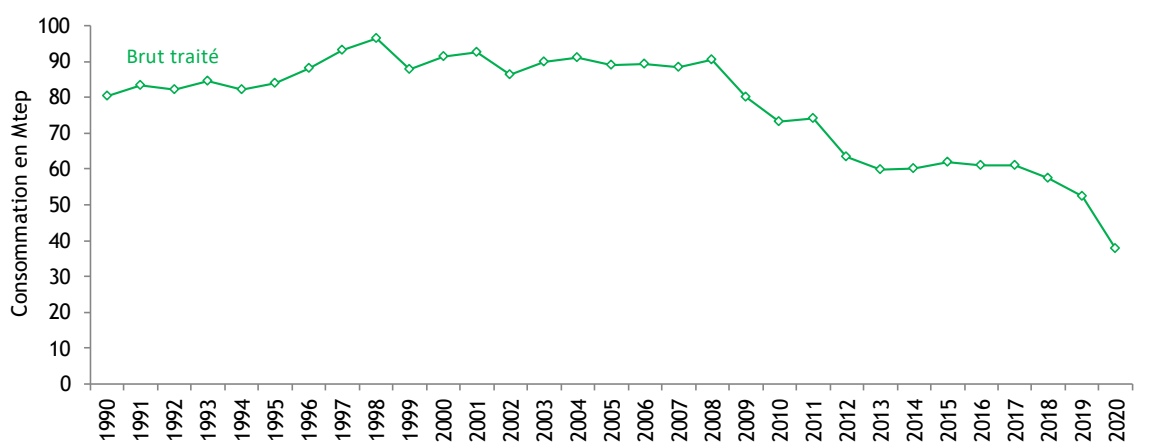
Le site de La Mède a arrêté le traitement du pétrole brut fin 2016 et a été transformé pour créer la première bioraffinerie française afin de répondre à la demande croissante en biocarburants. La production des biocarburants du site de la Mède a démarré en juillet 2019.

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. 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,
- Enfin, en 2013, la raffinerie de Petit-Couronne (Seine-Maritime) a fermé ses portes. Ce site est en cours de reconversion en entrepôt logistique pour le secteur du e-commerce,
- En janvier 2017, la raffinerie de Dunkerque (Nord) déclare l'arrêt définitif de ses activités.

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

Figure 20 : Brut traité dans les raffineries en France métropolitaine et Martinique (Périmètre Kyoto)



Source CITEPA / format ccnucc - mars 2022

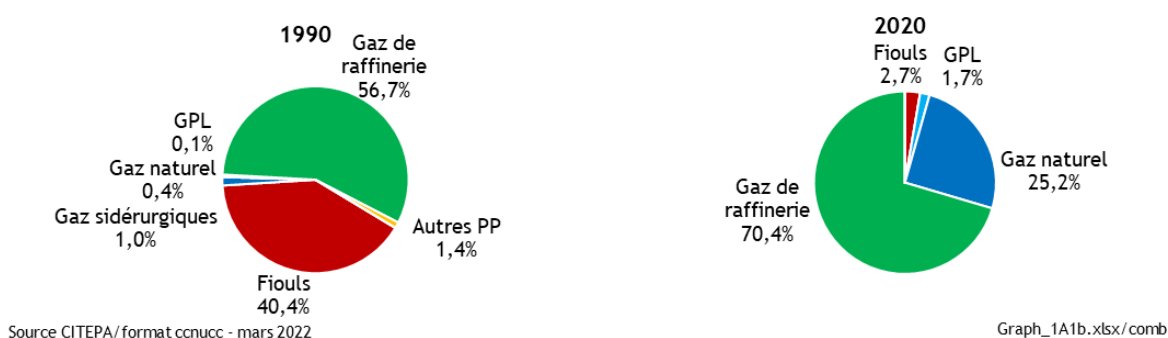
Graph_1A1b.xls / brut_traité

En 2020, la quantité de brut traité dans les raffineries françaises est de 38 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 entraîné 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 -14 % entre 2017 et 2019. L'année de 2020, très impactée par la pandémie de la Covid-19, a vu une chute inédite de -28 % par rapport à 2019.

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, entraînant une baisse d'activité.

Figure 21 : Combustibles consommés pour le raffinage du pétrole (périmètre Kyoto)



Parmi les spécificités des installations françaises, il faut noter :

- qu'un site utilise des gaz de haut-fourneau du site sidérurgique voisin, ce qui explique les émissions spécifiques importantes pour la catégorie des combustibles solides pour ce secteur,
- qu'un site a démarré une turbine à combustion en 2004 au gaz naturel, dont la pleine capacité est atteinte à partir de 2005. Cet équipement consomme plus de 80 % des quantités totales de gaz naturel allouées à ce secteur,
- parmi les combustibles dits « liquides » au sens de la CCNUCC, il faut noter la part très importante des gaz de raffinerie (plus de 50 % des consommations totales d'énergie).

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

En 2020, cette catégorie occupe le 32^{ème} rang des catégories clés pour sa contribution au niveau des émissions hors UTCATF (0,5 %) du fait du CO₂ 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 résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 47 : Substances et combustibles pour lesquels le secteur 1A1c est source clé en 2020 (hors UTCATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A1c - coal	CO ₂	32 ^{ème}	0,5%	44 ^{ème}	0,4%

Transformation des combustibles minéraux solides

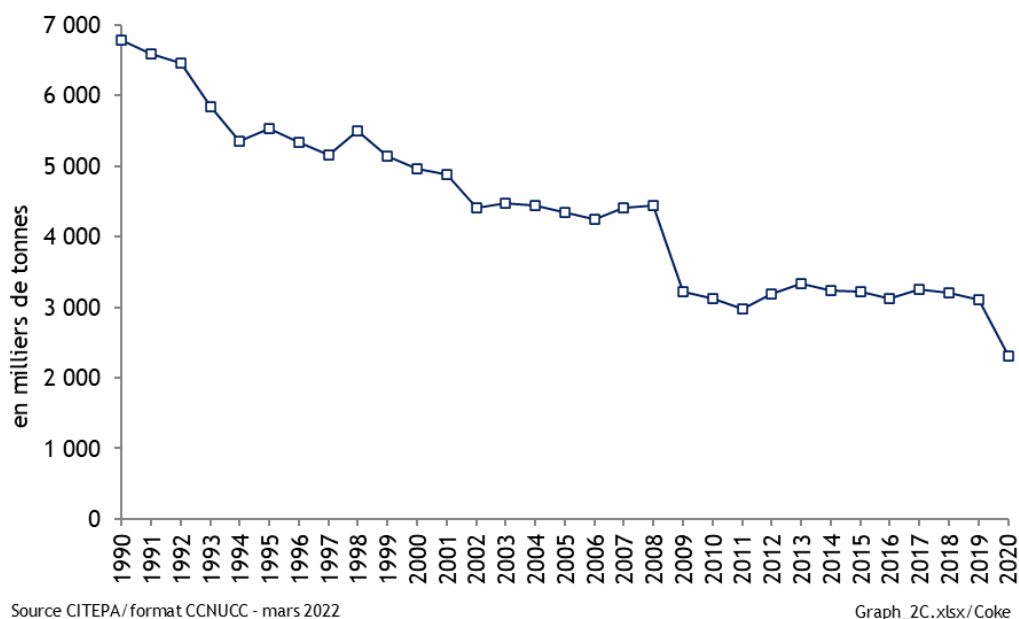
En France, la transformation de combustibles solides est pratiquement circonscrite à la production de coke dans les cokeries minières et les cokeries sidérurgiques. La liquéfaction, la gazéification et la production de combustibles défumés sont inexistantes ou marginales.

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

Il n'existe plus de cokerie minière en France depuis fin 2009. Trois cokeries sidérurgiques (i.e. au sein des sites intégrés de fabrication d'acier) existent à ce jour en France.

La fabrication de charbon de bois figure également parmi les activités couvertes par cette catégorie.

Figure 22 : Production de coke en France (périmètre Kyoto)



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 décroître progressivement à partir de 1996 avec l'épuisement du gisement et le site a fermé définitivement en 2014.

3.2.4.2 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/activites/inventaires-des-emissions/omineia>

3.2.4.2.1 Production centralisée d'électricité, chauffage urbain et UIDND avec récupération d'énergie (1A1a)

Les émissions de CO₂ induites par les systèmes de désulfuration et de dé-NO_x sont prises en compte respectivement dans les catégories CRF 2A4 et 2D3.

Les centrales thermiques électriques

La méthode appliquée est de rang GIEC 2 voire 3 pour le CO₂ du fait de la prise en compte de données spécifiques à une partie des installations et de rang GIEC 3 pour le CH₄ et le N₂O (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 CO₂

Les émissions de CO₂ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. La mise en place du système d'échange de quotas SEQUE depuis 2005 permet de disposer par l'intermédiaire des déclarations annuelles [19] de données spécifiques pour chaque installation. 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 CH₄

Les émissions de CH₄ sont déterminées au moyen des facteurs d'émission par défaut du GIEC 2006 [638].

Emissions de N₂O

Les facteurs d'émission par défaut du GIEC 2006 [638] sont utilisés, excepté pour les installations munies de dispositifs à lit fluidisé pour lesquelles des données spécifiques sont disponibles [19].

Les installations de chauffage urbain

La méthode appliquée est de rang GIEC 2/3 pour le CO₂ 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 CH₄ et le N₂O.

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.

L'enquête sectorielle annuelle donne un cadrage de la consommation d'énergie par combustible. L'enquête n'est pas disponible pour les années 1996, 1998, 2000, 2001, 2003 et 2004. De plus, elle est parfois publiée avec deux années de décalage par rapport à l'année couverte dans l'enquête.

Pour les années manquantes ou pas encore disponibles de l'enquête sectorielle, des extrapolations sont effectuées sur la base des données individuelles disponibles et par rapport aux années les plus proches. En tout état de cause, cette approximation n'introduit pas de biais vis-à-vis de l'estimation des consommations d'énergie car le chauffage urbain est un sous-ensemble du secteur résidentiel/tertiaire du bilan énergétique national [1] et un équilibrage est effectué à ce niveau supérieur. De plus, la consommation d'énergie de ce secteur est relativement modeste (de l'ordre de 2 Mtep, soit un peu plus de 1 % du bilan énergétique national).

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 CO₂

Pour la houille, le fioul lourd et les combustibles gazeux, les émissions de CO₂ 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 les autres combustibles, les émissions de CO₂ 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 CH₄

Les émissions de CH₄ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

Emissions de N₂O

Les émissions de N₂O sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

Les UIDND (usines d'incinération de déchets non dangereux) avec récupération d'énergie

Données d'activité

L'ADEME réalise périodiquement, depuis plusieurs décennies, les enquêtes ITOM (Installation de Traitement des Ordures Ménagères) [32]. Ces enquêtes contiennent des données relatives à tous les sites recevant au moins des déchets collectés dans le cadre du service public d'élimination des déchets, implantés en Métropole et dans les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE. Les données collectées sont nombreuses : il s'agit, pour chaque installation, des quantités traitées par type de déchets selon la nomenclature ITOM, de l'énergie produite et son usage (vendue ou autoconsommée), des refus etc. Les données nécessaires à l'inventaire national (essentiellement les quantités traitées par type de déchets pour chaque installation) sont obtenues sous forme d'une base de données auprès de l'ADEME.

Les résultats de l'enquête ITOM font en outre l'objet d'un rapport public tous les 2 ans. La dernière édition a été publiée en 2020 et concerne les données de l'année 2018.

Règle de reporting

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 CO₂ issues de la part organique des déchets sont comptabilisées hors total.

Emissions de CO₂

Les émissions de CO₂ sont déterminées selon la méthodologie recommandée dans les lignes Directrices 2006 du GIEC [743] au moyen de facteurs d'émission calculés sur la base du contenu en carbone des déchets (FC), de la composition des déchets traités en UIDND (WF), du facteur d'oxydation de l'incinération (OF) et du ratio de carbone d'origine biomasse (CFC).

$$CO_2 \text{ Emissions} = MSW * \sum_i (WFi * dmi * CFi * FCFi * OFi) * 44/12$$

Où :

CO₂ Emissions = Emissions de CO₂, 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 CO₂,

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 23 : 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 combustibles (%)		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	22,4%	5,3%	15,0%	12,7%	2,6%	11,8%	0,1%	27,4%	16,6%	0,7%	0,0%	1,9%
2018	22,0%	5,4%	15,0%	12,5%	2,7%	12,1%	0,1%	27,9%	16,8%	0,7%	0,0%	1,7%
2019	21,7%	5,3%	15,0%	11,3%	2,6%	12,0%	0,2%	29,5%	18,0%	0,7%	0,0%	1,7%
2020	21,5%	5,1%	15,0%	10,0%	2,6%	11,9%	0,3%	31,1%	19,2%	0,7%	0,0%	1,7%

Graph_5.xlsx/Composition_uidnd

Les valeurs par défaut de contenu en carbone des déchets (FC) proposées par le GIEC sont appliquées [617][618].

La valeur par défaut du facteur d'oxydation de l'incinération proposée par le GIEC est appliquée [618].

Les valeurs par défaut du ratio de carbone d'origine biomasse (FCF) proposées par le GIEC sont appliquées [617][618].

Emissions de CH₄

Le facteur d'émission de CH₄ 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 CH₄ / kt de déchets [619].

Pour une technologie à lits fluidisés, le facteur d'émission du CH₄ 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 CH₄ / t de déchets.

Emissions de N₂O

Par le passé, un facteur d'émission de 31 g N₂O / 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 30,3 g/Mg de déchets incinérés en 2020. On considère un facteur constant de 98,4 g/Mg avant 2004.

1990-2004	2005	2010	2015	2020
98,43	95,85	58,72	31,26	30,30

Facteurs d'émission de N₂O associés à l'incinération de déchets ménagers (g N₂O/Mg de déchets)

3.2.4.2.2 Raffinage du pétrole (1A1b)

La méthode appliquée est de rang GIEC 2 ou 3 selon les années et les substances.

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

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

Les données disponibles détaillées (types, quantités et caractéristiques des combustibles, types d'équipements, mesures des émissions, bilans, etc.) [13, 14, 19, 39, 47] permettent une estimation assez fine des émissions de la combustion pour la plupart des substances, notamment celles concourant à l'acidification et au changement climatique.

Parmi les spécificités des installations françaises, il faut noter :

- qu'un site utilise des gaz de haut fourneau du site sidérurgique voisin, ce qui explique les émissions spécifiques importantes pour la catégorie des combustibles solides pour ce secteur,
- qu'un site a démarré une turbine à combustion en 2004 au gaz naturel, dont la pleine capacité est atteinte à partir de 2005. Cet équipement consomme plus de 80% des quantités totales de gaz naturel allouées à ce secteur.

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

Emissions de CO₂

Les émissions de CO₂ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible.

Les facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19], notamment afin d'assurer la cohérence des données retenues pour l'inventaire avec celles déclarées au titre du Système d'Echange de Quotas d'Emissions (SEQE), basées sur des mesures spécifiques.

Lorsque l'exploitant ne déclare pas de facteurs spécifiques, pour une année donnée, les facteurs d'émission moyens par combustible et par site sont appliqués (notamment avant 2005) ou, en dernier recours, les valeurs nationales (par combustible) sont utilisées (cf. section générale énergie).

Emissions de CH₄

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 N₂O

Les émissions de N₂O sont déterminées au moyen des facteurs d'émission par défaut (cf. section générale énergie).

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

Transformation des combustibles minéraux solides

Les consommations de combustibles dédiées au secteur de la transformation du charbon sont issues du bilan national de l'énergie [1]. Il n'y a plus d'activité à partir de 2005.

Les émissions des cokeries minières et sidérurgiques sont déterminées à partir des données spécifiques disponibles (consommations et caractéristiques des combustibles, productions, mesures, etc.) [19, 27, 53]. A partir de 2014, les données de consommations fournies par la fédération professionnelle [27] ne sont plus disponibles. Afin d'estimer les consommations de combustibles pour la production de coke sidérurgique, une estimation de la consommation totale est réalisée à partir de la production et d'un ratio moyen entre la consommation totale et la production de coke, basé sur les années connues. Une répartition moyenne des consommations par type de combustible, basée sur les années connues, est appliquée à la consommation totale afin d'obtenir les consommations par combustible.

Lorsque les cokeries minières fonctionnaient encore, du gaz de mine et du gaz de cokerie étaient produits. L'une des cokeries réutilisait le gaz de mine et le gaz de cokerie au sein de la cokerie comme intrants énergétiques, et l'autre n'utilisait que du gaz de cokerie. Au sein des cokeries sidérurgiques, le gaz de four à coke produit est réutilisé en tant que source d'énergie dans les différents ateliers du site intégré de fabrication d'acier (au sein de l'atelier de production de coke, de l'agglomération, des hauts-fourneaux, des fours à oxygène ou encore des ateliers connexes). Une partie de ce gaz de cokerie est également vendu, notamment à des producteurs d'électricité.

Les émissions liées à la fabrication du charbon de bois sont calculées à partir de la production [517, 518 et 1061], et des facteurs d'émission spécifiques au secteur [78].

Emissions de CO₂

Pour la transformation du charbon, les émissions de CO₂ sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

Pour la fabrication de coke au sein des cokeries sidérurgiques, les consommations de combustibles sont fournies par la fédération professionnelle [27]. Le facteur d'émission est tiré des teneurs en carbone moyennes (sur 2008-2011) de chaque combustible [27]. Du gaz de cokerie est produit au sein des cokeries sidérurgiques et est réutilisé en tant que combustible dans les différents ateliers des sites sidérurgiques intégrés (au sein de la cokerie, mais aussi l'agglomération, les hauts-fourneaux et d'autres ateliers connexes). Il peut également être vendu et utilisé comme source d'énergie par d'autres secteurs (comme la production d'électricité par exemple). Les émissions associées à la combustion de ce gaz acheté sont alors comptabilisées dans le secteur utilisateur.

Dans le cas des cokeries minières (arrêt de l'activité fin 2009), les productions sont issues des déclarations annuelles des exploitants [19]. Les facteurs d'émission pour le CO₂ liés aux consommations de gaz de cokerie, de gaz de mine et de charbon à coke sont tirés des informations individuelles des deux sites : une seule année (2001) pour l'un des sites, six années (2004 à 2009) pour le second site [19] (Rang 3 pour ces années connues). Le même facteur d'émission est appliqué pour les années pour lesquelles l'information n'est pas disponible (Rang 2).

Concernant la fabrication du charbon de bois, le facteur d'émission provenant de l'USEPA est pris par défaut [66]. Ces émissions sont assimilées à du CO₂ biomasse et ne sont donc pas comptabilisées dans le total national.

Emissions de CH₄

Pour la transformation du charbon, les émissions de CH₄ sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible issu du GIEC 2006 [638].

Pour la fabrication de coke au sein des cokeries sidérurgiques, les consommations de combustibles sont fournies par la fédération professionnelle [27]. Les facteurs d'émission sont tirés du GIEC 2006 [638].

Dans le cas des cokeries minières (arrêt de l'activité fin 2009), les productions sont issues des déclarations annuelles des exploitants [19]. Les facteurs d'émission sont tirés du GIEC 2006 [638].

Concernant la fabrication du charbon de bois, deux facteurs d'émission sont considérés selon le type de procédé de production (artisanal ou industriel) ; ils proviennent d'une étude du CITEPA [78]. Le facteur d'émission global varie au cours du temps en fonction de la répartition entre les productions de type artisanale et industrielle.

Emissions de N₂O

Pour la transformation du charbon, les émissions de N₂O sont déterminées au moyen des consommations [1] et des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible issu du GIEC 2006 [638].

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

Pour la fabrication de charbon de bois, les émissions de N₂O sont estimées à partir de facteurs d'émission issus du GIEC 2006 [638].

Raffinage du gaz

Les données disponibles détaillées (types, quantités et caractéristiques des combustibles, types d'équipements, mesures des émissions, bilans, etc.) [19, 39, 50] permettent une estimation assez fine des émissions des différents équipements pour la plupart des substances, notamment celles concourant à l'acidification et au changement climatique.

Emissions de CO₂

Les émissions de CO₂ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs aux combustibles consommés. Les facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19, 50], notamment afin d'assurer la cohérence des données retenues pour l'inventaire avec celles déclarées au titre du Système d'Echange de Quotas d'Emissions (SEQE), basées sur des mesures spécifiques. Lorsque, pour une année donnée, l'exploitant ne fournit pas de facteur spécifique pour un ou plusieurs combustibles, la moyenne des facteurs d'émission sur les années renseignées ou la valeur par défaut est appliquée (notamment avant 2005). Les facteurs d'émission spécifiques à cette activité sont confidentiels (un seul site concerné).

Emissions de CH₄

Pour les chaudières et les fours, les facteurs d'émission proviennent du Guidebook EMEP / CORINAIR [17] pour le fioul lourd et de facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant pour le gaz naturel [50].

Pour les moteurs fixes, des valeurs spécifiques sont utilisées [50].

Emissions de N₂O

Les émissions de N₂O sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par défaut.

3.2.4.3 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 associées au secteur de l'industrie de l'énergie est effectuée au 3^{ème} 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 de l'IPCC [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 CO₂ 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 CO₂ sont connus, mesurés et bien suivis.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission de CH₄ et de N₂O sont de 100% par type de combustible. Pour le CH₄, ceci est basé sur les lignes directrices du GIEC [IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - Chapitre 2 Combustion sources mobiles, Table 2.12] tenant compte l'avis des experts sectoriels. Pour le N₂O, 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 CH₄ et le N₂O sont plus élevées, car elles reflètent l'utilisation de facteurs par défaut (provenant des lignes directrices du GIEC).

La cohérence temporelle est respectée sur l'ensemble de la période pour les centrales thermiques électriques (consommations et émissions suivies chaque année) et pour les UIDND avec récupération d'énergie.

Pour les installations de chauffage urbain, il existe certaines années avant 2005 où l'enquête sur les consommations d'énergie n'est pas disponible ou est peu fiable. Dans ces cas particuliers la cohérence temporelle est rétablie en recalculant les consommations à partir des GIC (Grandes Installations de Combustion) qui sont suivies annuellement. Un contrôle de cohérence avec indice de rigueur climatique pour l'année en question est aussi effectué.

La cohérence temporelle est respectée sur l'ensemble de la période pour le secteur du raffinage puisque les données d'activité sont connues au niveau de chaque site depuis 1990.

La cohérence temporelle est respectée sur l'ensemble de la période pour les cokeries, l'activité minière et le raffinage de gaz puisque les données d'activité proviennent soit du site lui-même, soit des mêmes sources statistiques depuis 1990.

3.2.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Des dispositions spécifiques sont mises en œuvre pour ces sous-secteurs de l'énergie :

- les déclarations annuelles des exploitants sont vérifiées par les autorités locales (DREAL) puis validées par le Ministère de la Transition Ecologique (MTE),
- une validation indirecte des émissions de CO₂ 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.

3.2.4.5 Recalculs

Impact des recalculs du CRF 1A1

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	66 350	55 818	62 547	66 980	59 807	51 357	52 689	52 581	39 694	41 893	45 172	48 981	40 271	38 212	0
Nouveau	kt CO ₂ e	66 338	55 802	62 526	66 972	60 134	54 762	57 024	55 387	42 085	44 988	48 548	52 556	43 189	41 680	37 115
Différence	kt CO ₂ e	-12	-16	-21	-8,1	+327	+3 405	+4 335	+2 806	+2 391	+3 095	+3 376	+3 575	+2 918	+3 467	+37 115
	%	-0%	-0%	-0%	-0%	+1%	+7%	+8%	+5%	+6%	+7%	+7%	+7%	+7%	+9%	-

Source Citepa / janvier_2022

Rapport_CRF.xlsm / 1.A.1

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

Production d'électricité (1A1a)

Description des recalculs

Métropole :

Ajout de la consommation manquante de biomasse solide d'un site de production d'électricité sur la période 2016-2019 : affecte toutes les émissions (CO₂ biomasse hors total) à la hausse entre 2016 et 2019.

Correction des consommations de GPL sur la période 2012-2019 d'un site entraînant une légère baisse sur la période des émissions de toutes les émissions.

Outre-Mer :

Ajout d'un site manquant en Guyane qui consomme du fioul domestique sur les années 2017-2019, hausse de toutes les émissions.

Ajout de consommation d'huiles usagées (NAPFUE 213) pour l'année 2019 en Mayotte suite à un oubli dans l'édition précédente.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude des données.

Chauffage urbain (1A1a)

Description des recalculs

Impact minime sur les émissions de CO₂ liées à des corrections du facteur d'émission CO₂ du gaz naturel : baisses sur 1990-1994 et 2002-2007, 2010-2013 et 2017-2019

Prise en compte en 1A1a de la production de chaleur hors CU entraînant une hausse des émissions à partir de 2011.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude des données.

UIDND avec récupération d'énergie (1A1a)

Description des recalculs

Prise en compte d'une nouvelle enquête de caractérisation des déchets (MODECOM 2017) qui contribue une modification du carbone organique dégradable (COD) et des émissions entre 2008 et 2017.

Correction d'une erreur minime sur l'enquête de caractérisation des déchets de 2007 (MODECOM 2007) qui contribue à une modification du COD et des émissions sur la période 1990 - 2007.

Mise à jour des quantités de déchets incinérés en prenant en compte les nouvelles hypothèses du Ministère en cohérence avec les projections. Cette modification impacte les émissions de 2019.

Modification du facteur d'émission du N₂O pour l'année 2013 après reconsidération des données déclarées par certains exploitants sur la plateforme GEREPE.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude des données.

Raffinage du pétrole (1A1b)

Description des recalculs

Aucun recalcul en particulier n'est à justifier.

Raison et justification

NA

Transformation des combustibles minéraux solides (1A1c)

Description des recalculs

Pour la fabrication de charbon de bois, les données de production de 2018 et 2019 ont été révisées avec respectivement une hausse pour 2018 (+8 %) et une baisse en 2019 (-2 %), impactant les émissions des différents gaz à effet de serre de la même manière.

Pour la production de coke en cokeries sidérurgiques, une correction a été apportée à la consommation de gaz d'aciérie en 2019.

Raison et justification du recalcul

Amélioration de l'exactitude des données.

3.2.4.6 Améliorations envisagées

Transformation des combustibles minéraux solides (1A1c)

Pour la fabrication de charbon de bois, il est envisagé de mobiliser les données des industriels fabriquant du charbon actif, déclarant des émissions liées à la carbonisation de bois, et de les combiner aux données statistiques de production de charbon de bois actuellement utilisées.

3.2.5 Industrie manufacturière (1A2)

3.2.5.1 Caractéristiques de la catégorie

En 2020, pour la France au périmètre Kyoto, l'industrie manufacturière (CRF 1A2), du fait des émissions de CO₂, apparaît 11 fois parmi les 44 catégories clés recensées en termes de niveau d'émissions hors UTCATF. De même, pour la contribution à l'évolution des émissions (hors UTCATF), l'industrie manufacturière apparaît 17 fois pour les émissions de CO₂ sur les 58 catégories clés recensées. Les différentes catégories clés (hors UTCATF) en termes de niveau d'émissions et d'évolution des émissions sont les suivantes :

Tableau 48 : Substances pour lesquelles le secteur 1A2 est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A2g	CO ₂	12 ^{ème}	1,8%	52 ^{ème}	0,3%
1A2e - gas	CO ₂	15 ^{ème}	1,7%	14 ^{ème}	2,0%
1A2c - gas	CO ₂	19 ^{ème}	1,3%	-	-
1A2f - gas	CO ₂	21 ^{ème}	1,1%	30 ^{ème}	0,8%
1A2a - coal	CO ₂	26 ^{ème}	0,7%	-	-
1A2a - gas	CO ₂	27 ^{ème}	0,7%	49 ^{ème}	0,3%
1A2f - oil	CO ₂	28 ^{ème}	0,7%	28 ^{ème}	0,9%
1A2c - oil	CO ₂	29 ^{ème}	0,6%	31 ^{ème}	0,7%
1A2d - gas	CO ₂	33 ^{ème}	0,5%	51 ^{ème}	0,3%
1A2f - other fossil fuels	CO ₂	43 ^{ème}	0,3%	45 ^{ème}	0,4%
1A2c - other fossil fuels	CO ₂	44 ^{ème}	0,3%	47 ^{ème}	0,3%
1A2c - coal	CO ₂	-	-	50 ^{ème}	0,3%
1A2f - coal	CO ₂	-	-	20 ^{ème}	1,4%
1A2e - oil	CO ₂	-	-	25 ^{ème}	1,0%
1A2e - coal	CO ₂	-	-	38 ^{ème}	0,5%
1A2d - oil	CO ₂	-	-	41 ^{ème}	0,4%
1A2a - oil	CO ₂	-	-	40 ^{ème}	0,4%
1A2d - coal	CO ₂	-	-	46 ^{ème}	0,4%

1A2b - coal	CO ₂	-	-	48 ^{ème}	0,3%
-------------	-----------------	---	---	-------------------	------

En considérant uniquement les différentes sources clés cumulées, la combustion dans l'industrie manufacturière contribue en 2020, par le CO₂ émis, à 9,6 % en niveau d'émissions (hors UTCATF) et à 10,9 % en termes d'évolution (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 49 : Consommation d'énergie finale dans les sous-secteurs de l'industrie manufacturière par type de combustible en 1990 et 2020 - périmètre Kyoto

source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022 energie_industrie.xlsx/Energie finale

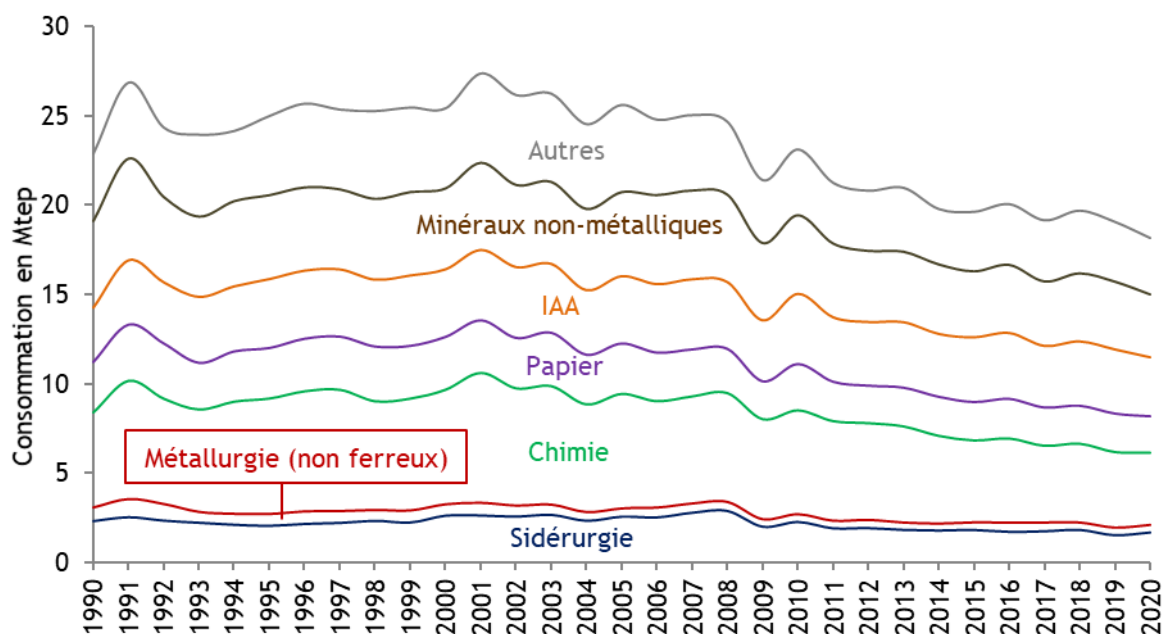
INDUSTRIE ¹ en Mtep	1990					2020				
	Liquides	Solides	Gaz naturel	Biomasse	Autres	Liquides	Solides	Gaz naturel	Biomasse	Autres
Sidérurgie (1A2a)	0,4	0,7	1,2	0,0	0,0	0,1	0,5	1,1	0,0	0,0
Métallurgie (non ferreux) (1A2b)	0,2	0,2	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0
Chimie (1A2c)	1,8	0,5	2,8	0,0	0,2	0,9	0,2	2,2	0,2	0,5
Papier (1A2d)	0,4	0,3	0,9	1,3	0,0	0,0	0,0	0,9	1,1	0,0
IAA (1A2e)	0,9	0,5	1,5	0,2	0,0	0,1	0,1	2,8	0,3	0,0
Minéraux non-métalliques (1A2f)	1,8	1,3	1,6	0,1	0,1	0,7	0,2	1,8	0,4	0,3
Autres (1A2g) - tous combustibles	3,8					3,2				
TOTAL	22,9					18,2				

¹ catégories de combustibles définies 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 1990-2020 des consommations totales (tous combustibles confondus) des différentes sous-catégories de l'industrie manufacturière pour la France au périmètre Kyoto 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 Kyoto.

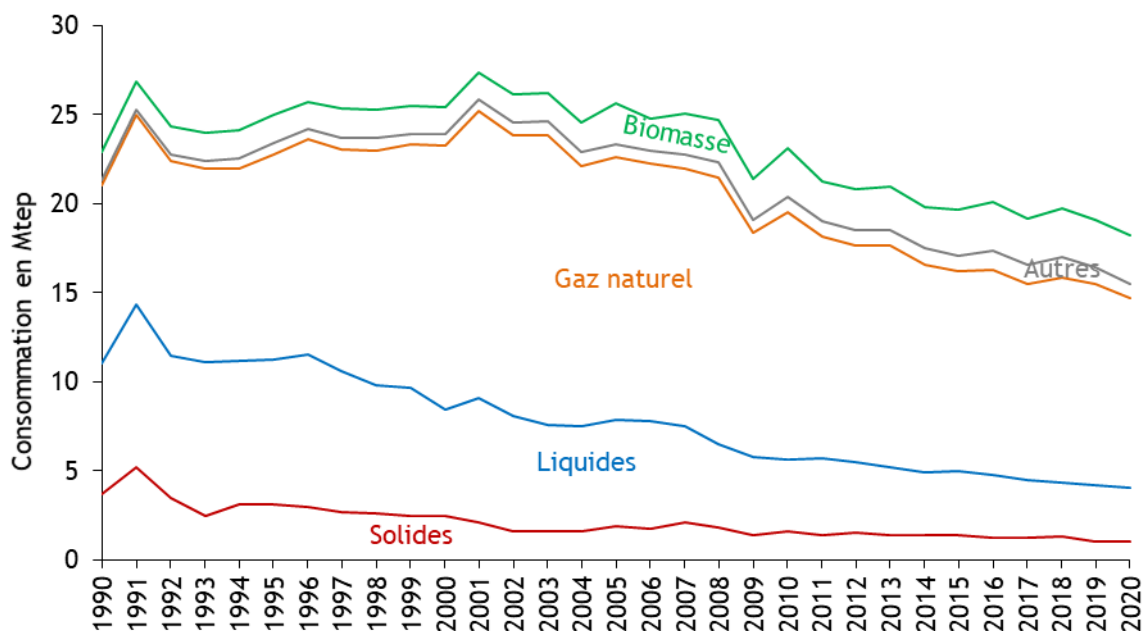
Figure 24 : Évolution de la consommation d'énergie par sous-catégorie de l'industrie manufacturière (périmètre Kyoto) (non corrigée du climat)



Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

energie_industrie.xlsx/Secteurs

Figure 25 : Evolution de la consommation d'énergie par combustible dans l'industrie manufacturière en France - (périmètre Kyoto) (non corrigée du climat)



source CITEPA/ format CCNUCC - mars 2022

Graph_1A2.xlsx/Evolution industrie

Au total, hors électricité, la consommation d'énergie finale dans le secteur de l'industrie manufacturière au périmètre Kyoto est en baisse entre 1990 et 2020 (-21 %), particulièrement ces dernières années depuis la crise économique de 2008-2009 (année 2009 fortement marquée) et la

crise sanitaire de 2020. La structure énergétique, quant à elle, montre une tendance à un recours plus important au gaz naturel et à la biomasse (respectivement +15% et +8% de contribution dans le mix énergétique en 2020 comparativement à 1990), au détriment des combustibles liquides (-16%) et solides (-10%). Ce changement de structure a permis notamment de diminuer les émissions de CO₂ du secteur sur la période.

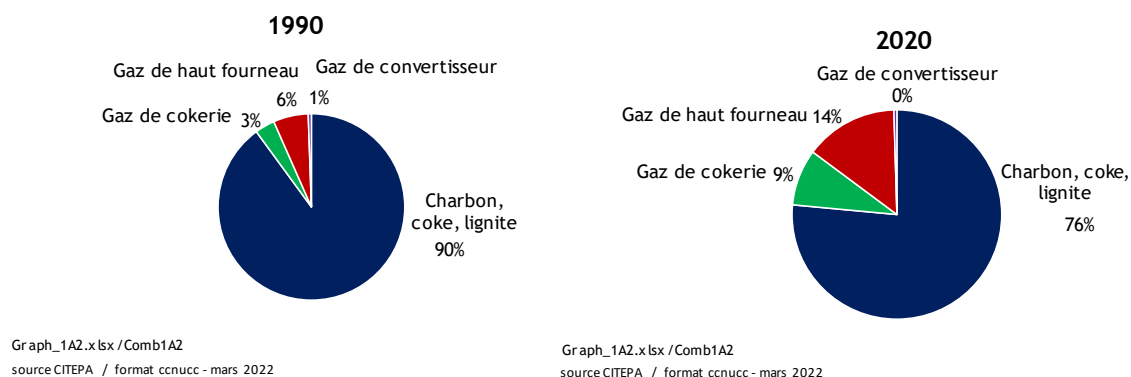
Une légère chute de la production des installations sidérurgiques en 1993 explique la baisse des consommations de combustibles solides cette année-là.

Parmi les spécificités de cette catégorie, sont à noter pour le périmètre Kyoto :

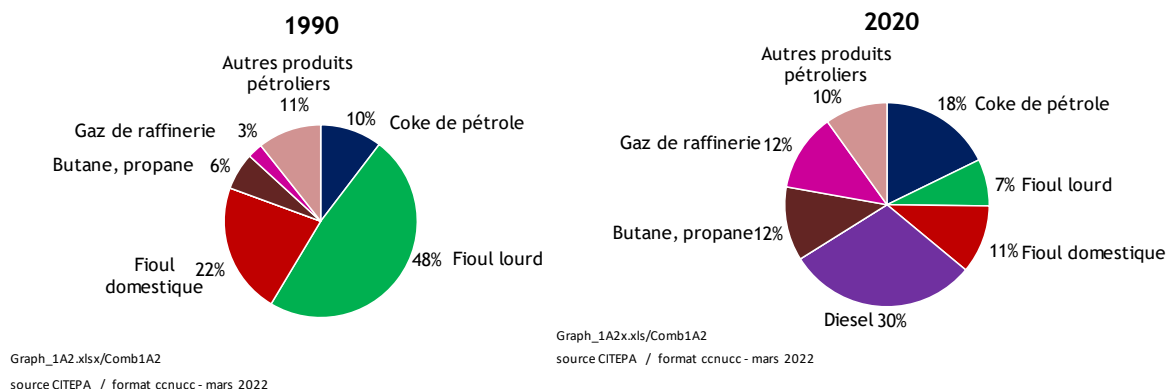
- l'augmentation de la part du coke de pétrole dans les combustibles « liquides » passant de 10 % en 1990 à 18 % en 2020. Cette évolution est imputable à l'industrie des produits minéraux (industrie cimentière en particulier),
- l'augmentation des gaz sidérurgiques dans les combustibles minéraux solides, passant de 10% en 1990 à 24% en 2020,
- 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).

Figure 26 : Détail des combustibles « solides » et « liquides » consommés dans l'industrie manufacturière en France - Périmètre Kyoto

Combustibles solides



Combustibles liquides



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 CO₂ issu de la décarbonatation, cf. sections relatives aux codes CRF 2A1 à 2A4) en fonction de la classification internationale des sources CRF.

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].

3.2.5.1.1 Métallurgie des métaux ferreux (1A2a)

Production de fonte grise

La production de fonte regroupe deux grands types de fonte :

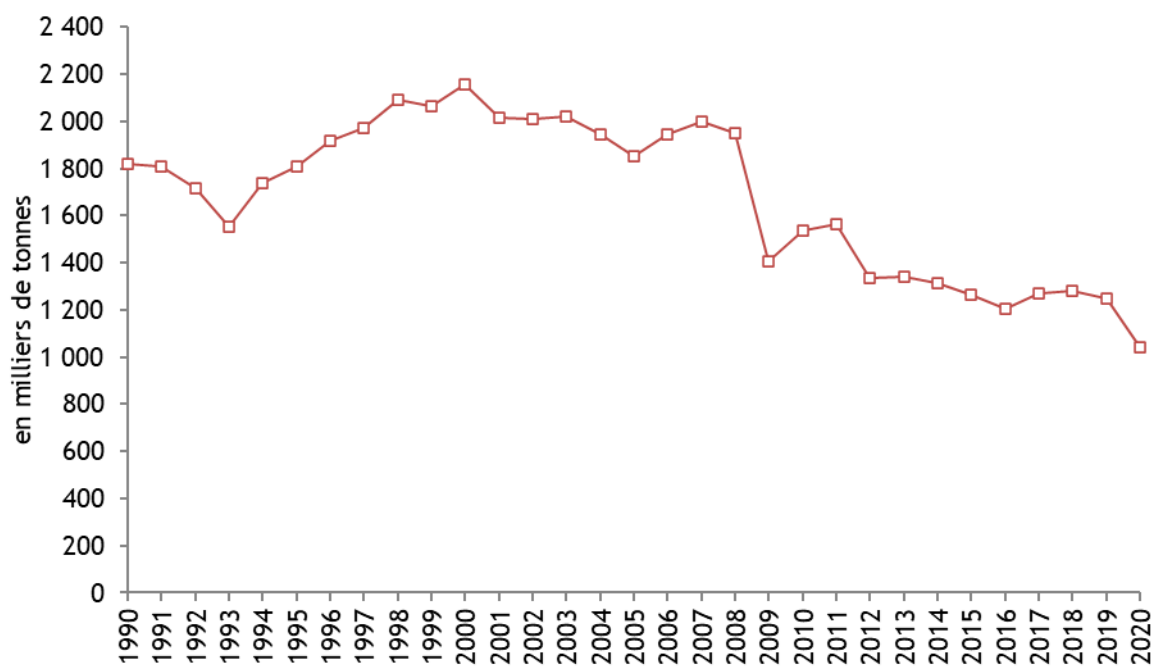
- la fonte graphite lamellaire (dite fonte grise),
- la fonte graphite sphéroïdale (dite fonte ductile).

Ces deux types de fonte servent à la fabrication de fonte hydraulique et de bâtiment, fonte sur modèle ou fonte sur album (selon le cahier des charges attendu par le client). La fonte est un alliage de fer et de carbone, contenant entre 2 % et 5 % de carbone, d'autres éléments tels que du silicium et du manganèse, ainsi que des impuretés, telles que du phosphore ou du soufre.

Les produits en fonte sont obtenus par le moulage de fonte liquide produite, soit immédiatement avant la coulée dans des fours à cubilot, soit par le réchauffage de lingots de fonte dans des fours à induction, à arc électrique ou rotatifs [253].

Les fours à cubilots, majoritairement utilisés en France, sont des fours remplis alternativement de couches de coke de houille et de minerais de fer où l'on souffle de l'air à la partie inférieure après avoir procédé à l'allumage du coke. A mesure de la combustion du coke, les charges de métal s'échauffent et descendent dans le cubilot et la fonte finit par arriver dans la zone de fusion où elle passe à l'état liquide.

Figure 27 : Production de produits en fonte (périmètre Kyoto)



Source CITEPA/ format CCNUCC - mars 2022

Graph_2C.xlsx/Fonte

Production d'acier

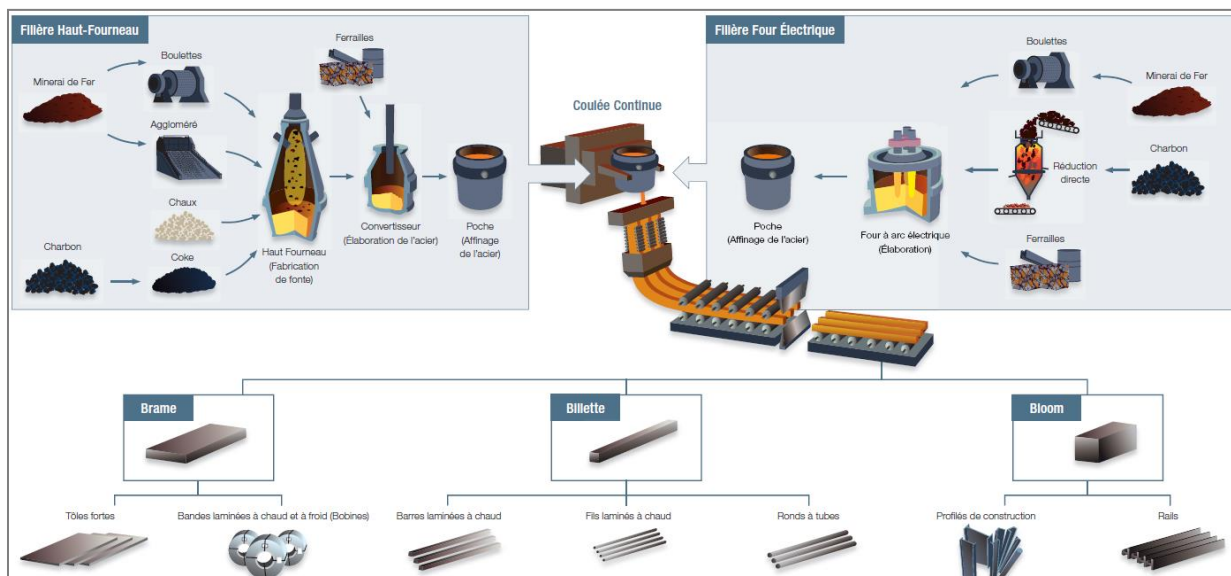
Les activités traitées dans cette section concernent la consommation de combustibles des ateliers sidérurgiques (émissions liées à la combustion).

- 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 laminiers) 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 28 : Les procédés de fabrication de l'acier



Source : acier.org

➤ Agglomération de minéral

La **chaîne d'agglomération** est un atelier dans lequel le minéral 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 minéral (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. Les émissions sont traitées dans la présente section.

Actuellement, deux sites intégrés de production d'acier sont encore en activité (présence du four à coke, du haut-fourneau, du convertisseur à oxygène, et de laminoirs), un site ayant fermé ses hauts-fourneaux et le four à oxygène en octobre 2011. Certains sites disposent d'une ou plusieurs activités spécifiques (hauts-fourneaux par exemple) sans posséder toute la chaîne de production d'acier.

Quatre 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. Les laminoirs étaient au nombre de 70 en 2000 selon l'enquête EACEI (d'après les codes NAF 272 et 273 (sauf 273J)).

3.2.5.1.2 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 1^{ère} fusion, seulement transformation de cathodes achetées (déjà raffinées) en billettes. La production de cuivre de seconde fusion avait lieu sur deux sites et s'est achevée en 1998.

Il n'y a plus de production de cuivre de première ou de seconde fusion en France depuis 2000.

a/ Production de cuivre de première fusion :

80 producteurs dans le monde utilisent des techniques liées à la pyrométallurgie pour produire plus de 90% de la production totale de cuivre de première fusion.

Les différentes étapes du processus sont :

- Les mines produisent du minerai contenant 1% de cuivre. La concentration en cuivre s'effectue par concassage, passage sur tamis et flottation pour obtenir un minerai titrant 15 à 35% de cuivre.
- La production de cuivre de première fusion est ensuite réalisée par pyrométallurgie qui comprend 4 étapes principales :
 - la cuisson pour réduire les impuretés (soufre, antimoine, arsenic, plomb),
 - le produit obtenu est ensuite fondu et concentré pour aboutir à une mixture de sulfide de cuivre (Cu_2S),
 - la conversion du produit conduit au "blister" de cuivre titrant 98,5 à 99,5% de cuivre,
 - le produit subit enfin un raffinage thermique (moulage en anodes) puis est envoyé au raffinage électrolytique afin d'éliminer des dernières impuretés : le cuivre se dépose à la cathode et les dernières impuretés restent dans l'électrolyte.

Les cathodes de cuivre sont ensuite refondues dans un four de type ASARCO puis transformées en produits marchands (billettes et plateaux) dans un four de coulée continue.

b/ Production de cuivre de seconde fusion :

Le cuivre de seconde fusion est obtenu par fusion des déchets de récupération (fils électriques, laiton, bronze, etc.) contenant des proportions diverses en cuivre, puis converti en cuivre blister dans un convertisseur de type Pierce-Smith par exemple.

Les facteurs d'émission dépendent de la technologie de fusion adoptée et des matériaux utilisés. La seconde fusion du cuivre se déroule comme suit :

- Le prétraitement des déchets inclut le nettoyage et la préparation des déchets pour la fonderie.
- Le passage en fonderie consiste à chauffer les déchets pour séparer et purifier les métaux spécifiques.
- L'ajout facultatif d'un ou plusieurs métaux au cuivre obtenu permet d'obtenir la qualité désirée et les caractéristiques des différents alliages recherchés le cas échéant (principalement laiton et bronze).

Production de magnésium

Entre 1964 et 2001, la production de magnésium a eu lieu sur un seul site en France. Le site a fermé au cours de l'année 2001. Il n'y a plus de production depuis 2002. A partir de 2003, ce site de première fusion du magnésium devient une fonderie de seconde fusion classée parmi l'élaboration et l'affinage des alliages non ferreux [222].

Les émissions de CO₂ liées au phénomène de décarbonatation de la dolomie sont traitées en section 2A relative aux produits minéraux et à la décarbonatation. Les émissions de gaz fluorés liées à la production de magnésium sont traitées en section 2C relative à la métallurgie.

a/ Première fusion

En raison de la grande stabilité des composés et du caractère électrochimique du magnésium, son extraction des minerais exige une grande dépense d'énergie sous forme de courant électrique. La métallurgie est basée soit sur l'électrolyse du chlorure fondu, soit sur la réduction de l'oxyde, par l'intermédiaire de ferro-silicium (ou de charbon ou de carbure de calcium), favorisée par la volatilité du métal.

Le processus métallurgique se déroule en deux phases : la première est la préparation de chlorure ou de l'oxyde purs et la suivante l'extraction du magnésium à partir de ses composés.

- Préparation d'oxydes purs

La production en France était basée entièrement sur l'électrolyse du chlorure fondu, obtenu à partir de la dolomie. La dolomie (MgCO₃) 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 - MgCO₃), d'un réducteur et de produits de scarification. Le magnésium métal est libéré à l'état gazeux : $MgO + R \rightarrow RO + Mg$.

Le SF₆ 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 SF₆ dues à des fuites lors de la production [222]. Ces émissions sont traitées dans la section 2C relative aux procédés de la métallurgie. Les autres polluants étaient émis lors de la consommation de combustibles nécessaires au procédé [26].

b/ Seconde fusion

Outre le site précédemment évoqué après transformation, il existe également d'autres sites de production de magnésium de seconde fusion dont les émissions proviennent des mêmes sources. Ces sites utilisent aussi le SF₆ 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. Depuis 2003, 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 2 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 2 établissements sont considérées pour la production de zinc de première fusion.

Productions de plomb et de zinc de seconde fusion

Il n'y a plus véritablement de production de zinc de seconde fusion en France depuis 2002. Cependant, dans cette activité est comptabilisé un site qui valorise des poussières d'aciérie et des résidus zincifères pour produire des oxydes de Waelz fortement chargés en zinc.

Depuis 2012, il reste trois sites de production de plomb de seconde fusion en France. Deux sites ont fermé entre 2000 et 2002, et en 2012 un troisième site a recentré son activité uniquement sur le broyage des batteries (cf. section 2C relative aux procédés de la métallurgie). Le plomb et le zinc de première fusion sont traités dans la section « Production de plomb et zinc de première fusion » (1A2b).

a/ Plomb de seconde fusion

Le plomb de seconde fusion représente les quantités de plomb qui ont déjà fait l'objet d'une première fusion et/ou de plomb contenu dans des produits recyclés. Après un prétraitement, destiné par exemple à éliminer les matériaux indésirables des batteries ou à effectuer une première fusion sélective (ressuage) des vieux métaux, les matériaux sont placés dans des fours tournants, des fours réverbères ou des hauts-fourneaux, en condition réductrice (obtention de plomb antimonieux - mélange Pb-Sb) ou oxydante (obtention de plomb doux). Les procédés d'affinage ne diffèrent pas notablement de ceux utilisés en première fusion.

b/ Zinc de seconde fusion

La récupération du zinc, dans les déchets métalliques ou vieux zinc, était nettement moins importante que pour les autres métaux (autour de 10% de la production de zinc raffiné). Elle était, de plus, difficile à cerner autant du point de vue quantitatif, à cause de la réutilisation directe du zinc usagé dans la fabrication du laiton par exemple, que du point de vue qualitatif puisque les unités et les procédés utilisés n'avaient pu être répertoriés.

Production d'aluminium secondaire

L'activité concernée dans cette section est la production d'aluminium de seconde fusion. La production d'aluminium de première fusion (par électrolyse) est traitée dans la section 2C relative aux procédés de la métallurgie.

Outre la 1^{ère} 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'écrouissage, laitiers salés, etc.), par l'industrie de 2^{nde} 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.

3.2.5.1.3 Industrie agro-alimentaire (1A2e)

Production de produits de fourrage vert déshydratés

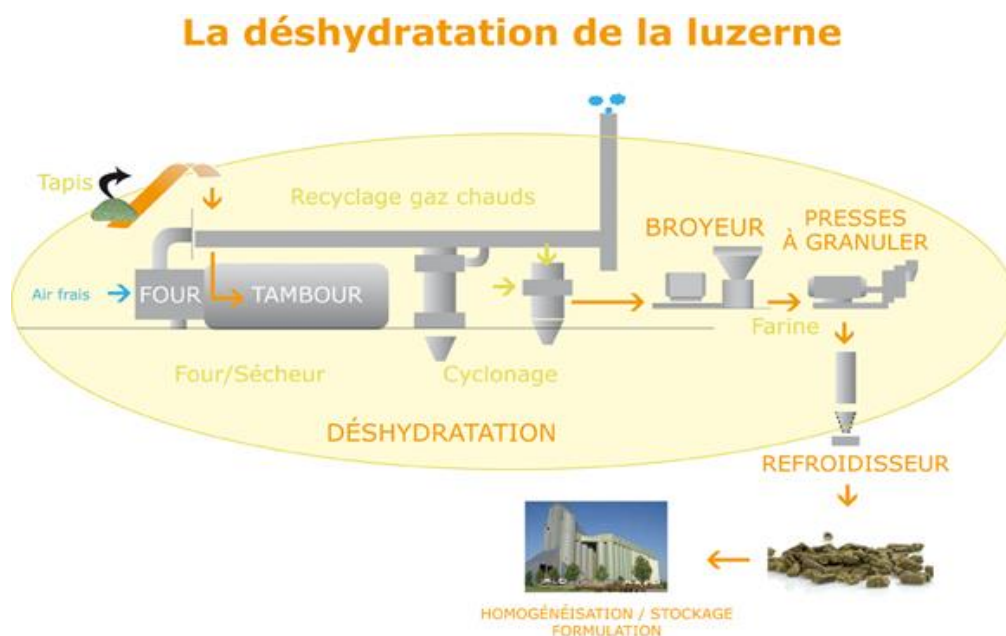
La déshydratation de fourrage vert permet de produire des aliments pour animaux (ruminants mais aussi chevaux, lapins, volailles, ...).

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 sècheurs 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 sècheur (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 27 en 2020.

3.2.5.1.4 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 2000°C et la température des matières de 1450°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 2020, il existe en France 28 usines de production de ciment dont 3 produisent du ciment aluminaté (environ 4,1% 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 CO₂ liées au phénomène de décarbonatation dans les installations de production d'émail sont présentées dans la section relative aux procédés industriels.

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, un des 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 désaéragage (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 1400°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 2020, 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 gobeletterie et les bocaliers. Le verre creux, avec 31 sites en activité, est le poste le plus important dans la fabrication de verre puisqu'il représente plus de 60% de la production totale de verre en poids.
- la production de fibres de verre (en particulier laine de verre et fils de verre) (SNAP 030316) compte 9 sites en activité.
- la production de verre technique (SNAP 030317) qui regroupe en particulier, la lunetterie et l'optique, les ampoules, le verre pour télévision et radio, le verre de laboratoire, les isolateurs, compte 5 sites en activité.
- la production de fibre minérale (laine de roche) (SNAP 030318), uniquement 3 sites en activité.

Tous les sites de production de verre sont localisés en France métropolitaine.

Les sources de données relatives à la production qui ont été utilisées sont les suivantes :

- **Verre plat (030314)** : de 1990 à 2010, les données proviennent des statistiques du SESSI/INSEE [53]. Les statistiques de l'INSEE ne sont plus disponibles depuis 2011. Pour pallier ce problème, une production est estimée sur la base des déclarations individuelles des industriels [19] de l'année en cours et d'un ratio entre le total des déclarations individuelles et la donnée des statistiques relatives à l'année 2011.
- **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.
- **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.
- **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.
- **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.

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 1550 °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 2020, il existait en France 55 usines de production de verre qui se répartissaient en 31 sites de production de verre creux, 5 sites de production de verre technique, 6 sites de production de verre plat, 9 sites de production de fibre de verre et 4 sites de production de laine de roche. Cette répartition a peu évolué au cours des dix dernières années.

Production de chaux

Cette section concerne uniquement les installations de combustion des installations de production de chaux. Il s'agit donc des émissions liées à la combustion des combustibles dans les fours.

La partie relative à la décarbonatation provenant des installations de production de chaux est traitée dans la section relative au code CRF 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 CO₂ 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 passent :

- soit sur l'utilisation de données spécifiques aux installations sur une base individuelle qui servent, par extrapolation à déterminer les émissions de l'ensemble des installations,
- soit sur l'utilisation de données nationales de production et de facteurs d'émission associés (exemple : cas des particules),
- soit sur l'utilisation de données nationales de consommation d'énergie et de facteurs d'émission (nationaux ou spécifiques à une année donnée).

En 2020, 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 3000t/an.

La répartition de la production nationale par type de chaux pour l'année 2020 est la suivante :

- chaux aérienne, 83,7%,
- chaux magnésienne, 3,3%,
- chaux hydraulique, 5,2%.

La chaux produite en sucrerie correspond à 7,8% de la production nationale.

Production de plâtre

Le plâtre est produit à partir de gypse. Le gypse est un sulfate de calcium hydraté, de formule Ca(SO₄)₂H₂O. 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 ». Par contre, si on atteint 900 à 1200°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 1100°C.

En 2020, 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.

3.2.5.1.5 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 7 % et 8 % de la production d'enrobés.

Les émissions déterminées dans cette section sont celles provenant de l'utilisation de combustibles pour alimenter les fours (sécheurs).

3.2.5.2 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/>

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 CRF 1A2 est caractérisée par la consommation d'énergie.

L'industrie manufacturière fait l'objet d'une classification en sous-secteurs définis dans les formats de restitution des inventaires d'émission (voir plus loin).

Par ailleurs, la nécessité de prendre en compte la nature des équipements de combustion (chaudières, turbines à gaz, moteurs, fours avec et sans contact entre la flamme ou les produits de combustion et la matière première), engins mobiles à moteur thermique, etc. mais également les équipements de dépollution, la taille des installations, etc., tous paramètres influents sur les émissions de certaines substances, est également à considérer.

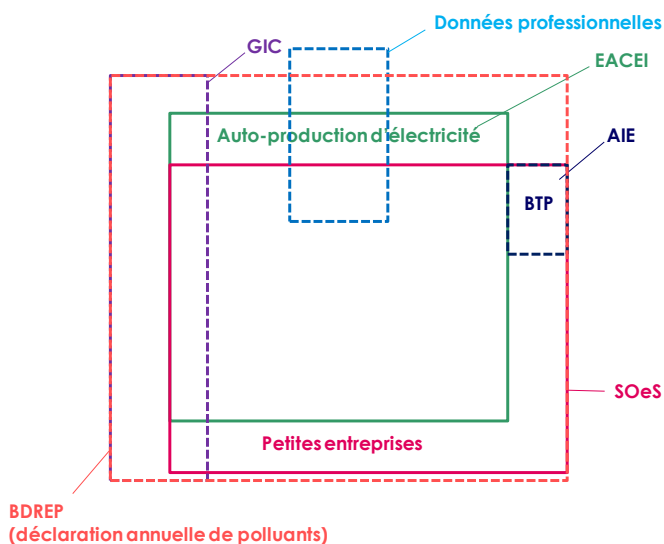
Ces critères rendent complexes la détermination des consommations d'énergie car il n'existe pas de statistiques appropriées prêtes à cet emploi environnemental. Les consommations énergétiques sont donc reconstituées pour les divers sous-ensembles considérés à partir des statistiques et données disponibles. A cet effet plusieurs sources sont utilisées :

- Le bilan de l'énergie du SDES [1] qui couvre l'ensemble de l'industrie y compris l'industrie du bâtiment et des travaux publics (BTP) et la production du tabac, quelle que soit la taille de l'entreprise. Cette statistique propose une répartition des consommations selon les différents sous-secteurs mais la série temporelle n'est pas toujours cohérente. Le bilan de l'énergie du SDES fournit également la part de biométhane consommé, qui est ensuite retranchée à la consommation totale de gaz de réseau. L'autoproduction d'énergie n'est pas incluse dans la catégorie « industrie » par le SDES, elle est incluse dans les secteurs de la transformation d'énergie. Ces consommations sont réallouées par le Citepa aux secteurs autoproducteurs, dont l'industrie, le raffinage et le tertiaire, selon des clés de répartition fournies par le SDES. En revanche, la chaleur produite par des tiers (site en NAF 35) et vendue à l'industrie manufacturière, est comptabilisée dans la catégorie « production d'électricité et de chaleur » (1A1a), en accord avec les lignes directrices du GIEC.
- L'enquête annuelle des consommations d'énergie dans l'industrie [26] qui couvre l'autoproduction d'énergie et la consommation de combustibles tels que biomasse et déchets depuis 2006. Le BTP et l'industrie du tabac ne sont pas inclus dans le champ qui se limite en outre aux entreprises de plus de 20 salariés (10 salariés pour les industries agro-alimentaires). En règle générale, plus de 15 000 établissements sont enquêtés chaque année dont tous les gros consommateurs d'énergie.
- L'inventaire des Grandes Installations de Combustion (GIC) [39] dans lequel les données sont disponibles par combustible pour les installations de plus de 50 MW.
- Les données relatives aux déclarations annuelles des rejets de polluants [19] qui comportent des informations relatives aux différents combustibles consommés et à leurs caractéristiques pour chaque installation.

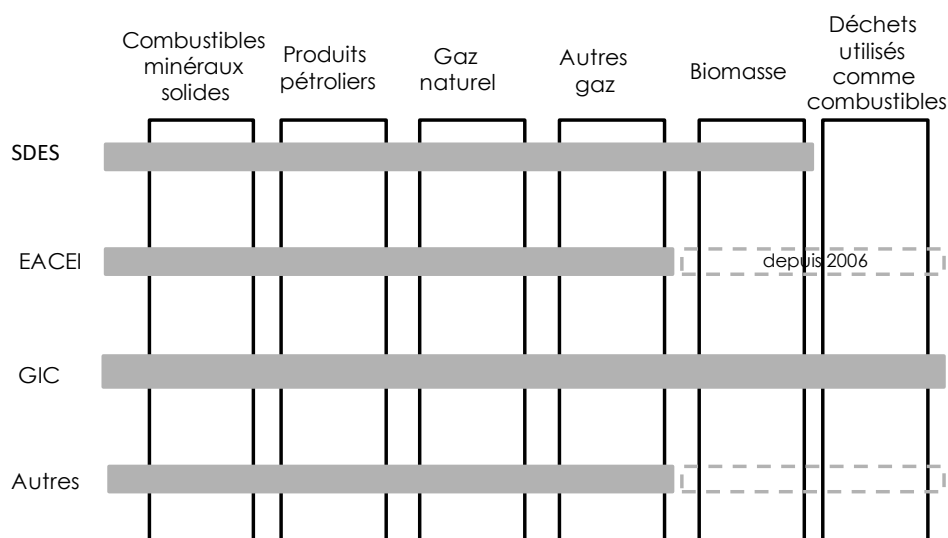
- Les données statistiques publiques ou internes produites par certains secteurs tels que la sidérurgie [27], la production de ciment [28] et la production d'enrobage routier [64].
- Les données relatives à l'Outre-mer fournies par le CPDP [14] et les observatoires régionaux (cf. section générale énergie).
- Les données relatives aux installations soumises au système d'échange de quotas d'émissions (SEQUE) : 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 SEQUE permettent par ailleurs d'effectuer un contrôle de cohérence et vérifier que les émissions totales d'un secteur SEQUE 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.

Périmètres des sources relatives aux bilans énergétiques



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 CRF et le NFR.

Le système d'inventaire retient 8 sous-secteurs dont 2 constituent après agrégation le sous-secteur « autres industries » du CRF / NFR.

Les définitions de ces sous-secteurs figurent dans le tableau ci-après :

Tableau 50 : Sous-secteurs du système d'inventaire

SELON LE REFERENTIEL NAF rév.2 (version 2008)

Référentiel CCNUCC / CRF 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 ¹⁰	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.

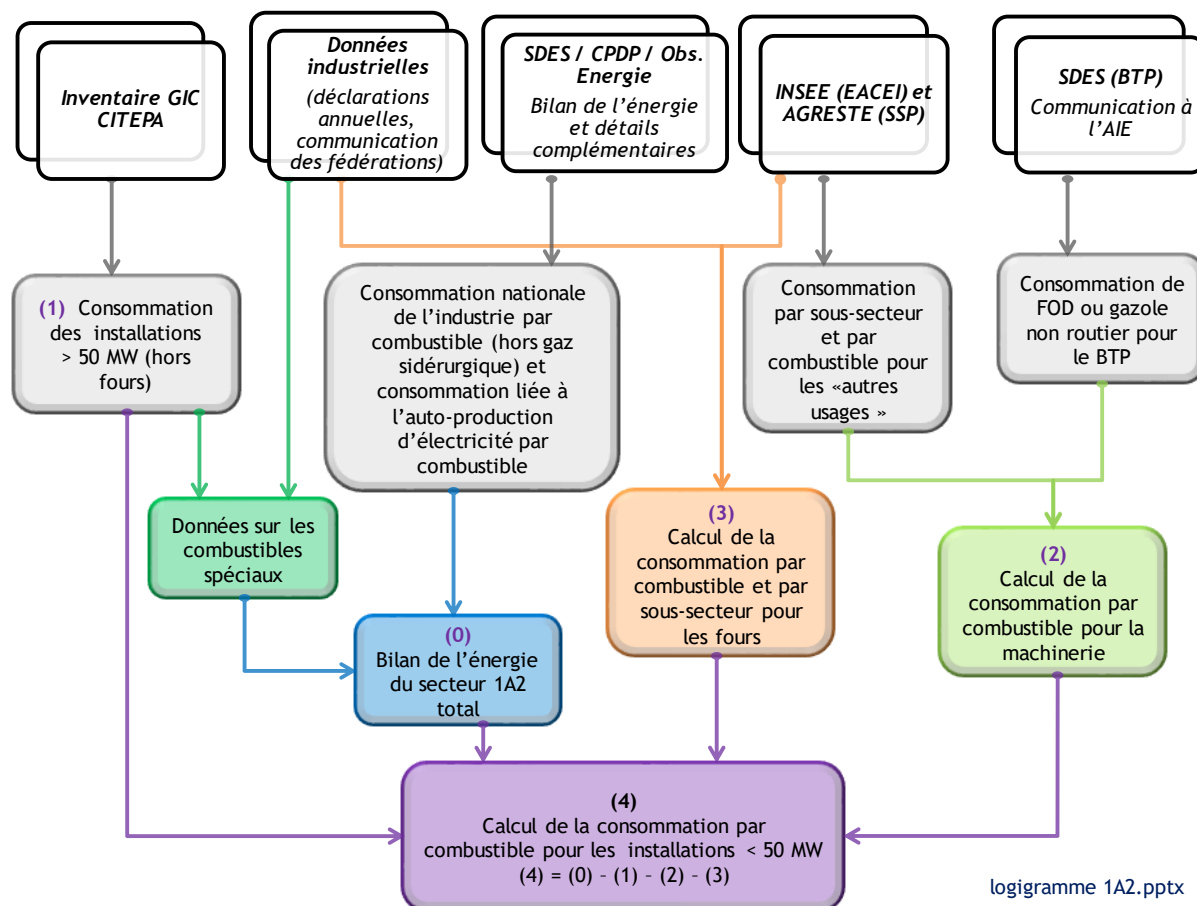
Le logigramme ci-après décrit les différentes phases de traitement de l'information qui aboutissent :

- 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,

¹⁰ y compris Imprimerie.

- 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 contact¹¹ (SNAP 0303xx) qui servent de données d'activité.

Figure 29 : Logigramme du processus d'estimation des consommations d'énergie en France métropolitaine



Des ajustements sont introduits pour boucler, in fine, avec le bilan énergétique national. Ces ajustements qui sont généralement limités et quantitativement faibles s'expliquent par les différences structurelles des diverses sources d'information, la prise en compte de données spécifiques à certaines installations, etc.

Les émissions sont calculées à partir des consommations d'énergie et des facteurs d'émission éventuellement spécifiques à certaines catégories d'installation, voire par installation lorsque les données sont disponibles (notamment les GIC).

Les consommations d'énergie relatives à tous ses 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 :

¹¹ 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.

- 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 (CO₂, SO₂, 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). À 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 CRF 1A2a, 1A2b, 1A2g et 1A2f) tandis que pour les autres secteurs ne comportant que des installations de combustion relativement classiques et homogènes (catégories CRF 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 CRF 1A2a, 1B1b et 2C1. En ce qui concerne les rejets de CO₂ et CH₄, 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 CRF 2C1. En ce qui concerne le N₂O, 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 CRF 1A2. Les émissions liées aux gaz sidérurgiques vendus à d'autres sites sont allouées aux secteurs consommateurs.

Emissions de CO₂

Les émissions de CO₂ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les facteurs par défaut, 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 (SEQUE), des facteurs d'émission spécifiques sont utilisés.

Les émissions de CO₂ 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 CRF 2C1, conformément aux lignes directrices du GIEC 2006.

Emissions de CH₄ et N₂O

Les émissions de CH₄ et N₂O sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les valeurs par défaut par combustible proviennent du GIEC 2006 [624].

Comme pour le CO₂, les émissions de CH₄ 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 CRF 2C1 conformément aux lignes directrices du GIEC 2006. Les émissions de N₂O, ne pouvant être rapportées dans le CRF 2C1, sont allouées au CRF 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 CO₂

Les émissions de CO₂ 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 CH₄

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 51 : Facteurs d'émission du CH₄ 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 N₂O

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].

3.2.5.2.1 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 SO₂. Les polluants associés à la combustion sont également émis : NO_x, COVNM, CH₄, CO, CO₂, etc.

Les autres types de fours (fours à arc électriques, à induction ou rotatifs) ne présentent pas d'émission relative à la plupart des substances considérées dans l'inventaire contrairement aux fours à cubilot cités précédemment.

Les particules sont considérées émises plutôt lors du moulage que lors de la combustion.

Les émissions sont calculées à partir de la production nationale de fonte ([622] de 1960 à 1980, [957] à partir de 1981) et de facteurs d'émission. Pour les gaz à effet de serre, la consommation de combustibles pour la production de fonte et des facteurs d'émission spécifiques aux combustibles sont utilisés. Les consommations nationales de combustibles sont issues de statistiques nationales sectorielles [26] jusqu'en 2010. À 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 CO₂

D'après CORINAIR [583], les émissions de CO₂ induites par la production de fonte grise sont uniquement dues à la consommation de combustibles. Les émissions de CO₂ sont calculées en multipliant les consommations de combustibles [26] par les facteurs d'émission nationaux (cf. section générale énergie). Le facteur d'émission du CO₂ est ensuite rapporté à la production annuelle [622][957]. Il varie donc en fonction des années.

Emissions de CH₄ et N₂O

Comme pour le CO₂, les émissions de CH₄ et de N₂O sont obtenues en appliquant les facteurs d'émission par défaut par combustible [638] aux consommations [26]. Le facteur d'émission global est ensuite déterminé en rapportant les émissions totales à la production annuelle [622].

Production d'acier**➤ Agglomération de minerai**

Les émissions liées à l'agglomération de minerai (partie énergétique) sont calculées sur la base des déclarations annuelles des émissions des sites à partir de 2004 [19], d'une part, et de la production nationale d'agglomérés [27] et de facteurs d'émission moyens appliqués sur les années antérieures, d'autre part. Les consommations de combustibles [27], les contenus en carbone [27] et des facteurs d'émission nationaux (cf. section générale énergie) sont également utilisés pour estimer les émissions de certaines substances.

➤ *Réchauffeurs de hauts-fourneaux*

En ce qui concerne les réchauffeurs de haut-fourneau, les émissions sont calculées à partir du bilan énergétique fourni par la fédération professionnelle [27] et de facteurs d'émission moyens calculés à partir de données disponibles dans les déclarations annuelles des émissions [19]. Les consommations de combustibles [27], les contenus en carbone [27] et des facteurs d'émission nationaux (cf. section générale énergie) sont également utilisés pour estimer les émissions de certaines substances.

➤ *Autres ateliers*

Pour les autres ateliers, les émissions sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des facteurs d'émission nationaux relatifs à ces combustibles (cf. section générale énergie).

Il convient de noter que la distinction entre les émissions liées à la combustion (1A2a) et les émissions liées au procédé (2C1) est réalisée en fonction de l'atelier sidérurgique.

La fédération professionnelle fournit un bilan des consommations et productions « Energies et matières » par atelier [27] jusqu'en 2013.

Par exemple, l'atelier de production de fonte (au sein du haut-fourneau) utilise du coke et des charbons comme agents réducteurs (matières premières → émissions liées au procédé) et des combustibles liquides et gazeux pour réchauffer l'air injecté à la base du haut-fourneau qui provoque la combustion des matières premières (émissions liées à la combustion). Des gaz de haut-fourneau issus de la transformation des matières premières sont produits et sont en partie réutilisés comme combustibles (apport énergétique) au sein du site intégré. Les émissions des gaz de haut-fourneau non valorisés et issues de la transformation des matières premières sont comptabilisées en procédé. La distinction est réalisée de différentes façons selon la nature des intrants, selon les substances considérées (cf. sections dédiées aux émissions par polluant) sur la base des lignes directrices pour la réalisation des inventaires des émissions. A partir de 2014, les données fournies par la fédération professionnelle [27] ne sont plus disponibles. Afin d'estimer les consommations de combustible pour chaque type de production (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 :

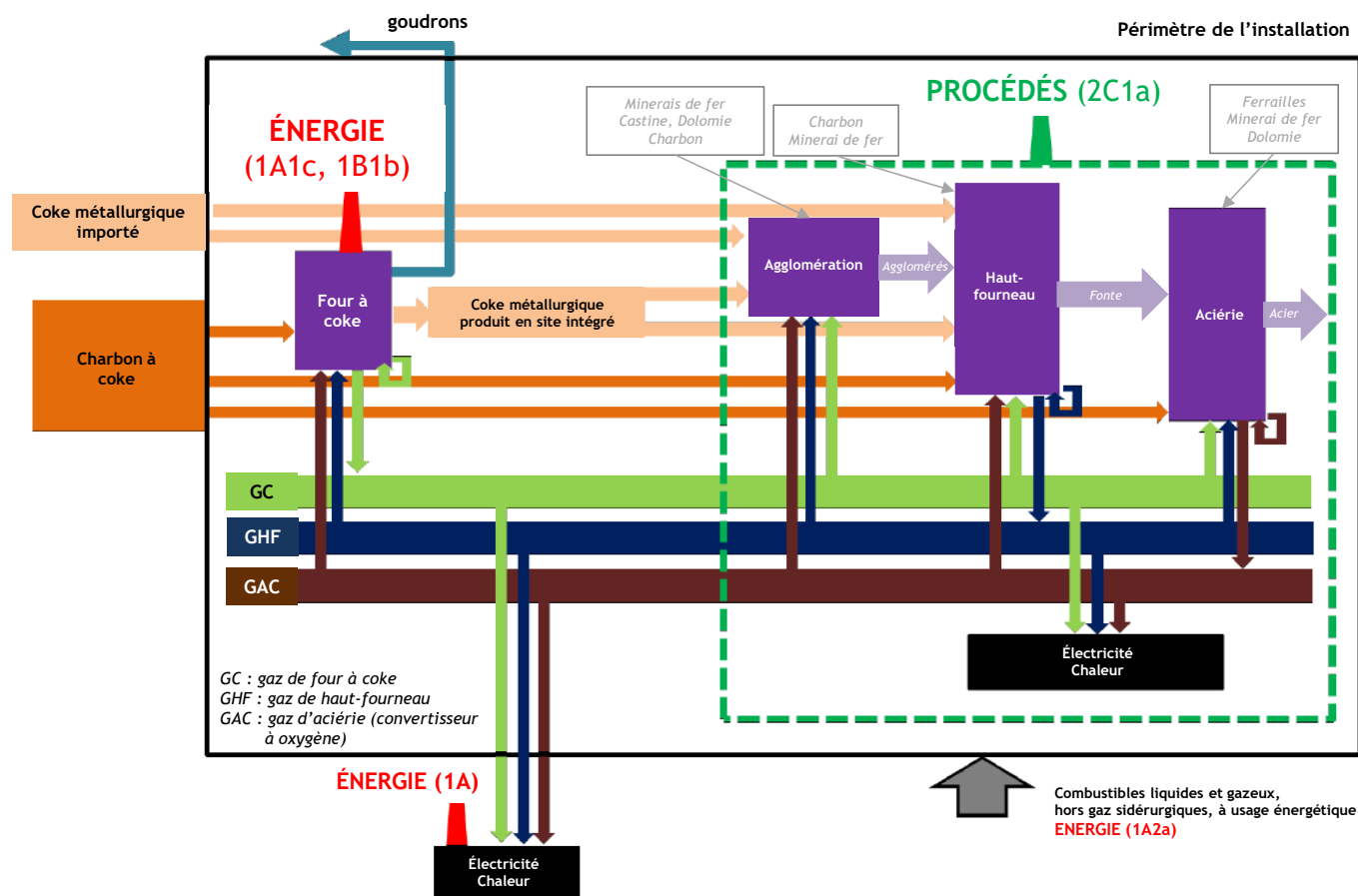
Figure 30 : Répartition des flux de combustibles et matières des installations sidérurgiques et des émissions de CO₂ associées

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

Emissions de CO₂

Concernant les émissions de CO₂, la distinction entre les émissions liées à la combustion (section présente - 1A2a) et les émissions liées au procédé (2C1) est réalisée grâce à un bilan matière au sein de l'atelier concerné. La fédération professionnelle du secteur fournit la quantité de carbone entrant dans le haut-fourneau [27], en ne tenant compte que des matières premières utilisées comme réducteurs (charbon et coke), ainsi que la quantité de carbone sortant, qui est contenu dans le produit (fonte) et dans les gaz d'échappement (gaz de haut-fourneau). Ces gaz sont soit captés et valorisés (réutilisés comme combustibles pour réchauffer l'air du haut-fourneau), soit captés mais non valorisés (torches), soit non captés.

Les émissions de CO₂ des consommations de combustibles solides et des gaz sidérurgiques au sein des ateliers sidérurgiques, hors GIC, sont désormais allouées au CRF 2C1, conformément aux lignes directrices du GIEC 2006.

Par ailleurs, la majorité des installations du secteur est soumise au système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre de l'Union européenne (SEQE-UE). Les données sont utilisées à des fins de contrôles de cohérence.

➤ *Agglomération de minerai*

Les émissions de CO₂ liées à la combustion sont calculées par type de combustible sur la base des consommations annuelles des différents combustibles et matières employés [27] et des teneurs en carbone moyennes (sur 2001-2008) spécifiques à ces combustibles [27]. Les émissions sont ensuite ramenées à la production annuelle d'agglomérés [27] pour obtenir le facteur d'émission par tonne d'agglomérés produits. Les émissions relatives à l'utilisation de castine (décarbonatation) et à l'apport de minerai de fer sont traitées en section « 2C1 - iron steel ».

➤ *Réchauffeurs de hauts-fourneaux*

Les émissions de CO₂ sont calculées sur la base des consommations annuelles des différents combustibles employés [27] et des teneurs en carbone moyennes (sur 2001-2008) spécifiques à ces combustibles [27]. Les émissions sont ensuite ramenées à la production annuelle de fonte brute [27] pour obtenir le facteur d'émission par tonne de fonte produite.

➤ *Autres ateliers*

Les émissions de CO₂ sont calculées par type de combustible sur la base des consommations annuelles des différents combustibles et matières employés [27] et des teneurs en carbone moyennes (sur 2001-2008) spécifiques à ces combustibles [27].

Emissions de CH₄

Comme pour le CO₂, les émissions de CH₄ liées aux consommations de combustibles solides et des gaz sidérurgiques au sein des différents ateliers sidérurgiques, hors GIC, sont également désormais allouées au CRF 2C1 conformément aux lignes directrices du GIEC 2006.

➤ *Agglomération de minerai*

Les émissions de CH₄ 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 CH₄ 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 CH₄ 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 N₂O

➤ *Agglomération de minerai*

Les émissions de N₂O 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].

3.2.5.2.2 Métallurgie des métaux non ferreux (1A2b)

Production de cuivre

Les niveaux d'activité correspondent aux productions de cuivre de 1^{ère} et de 2^{nde} fusion 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].

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 guidelines 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.

Emissions de CO₂

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 suite à 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 CH₄ et N₂O

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].

Depuis 2003, les facteurs d'émission rapportés à la production de zinc (confidentiels) ont fortement diminué suite à 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.

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].

Emissions de CO₂

- *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 CH₄ et N₂O

- *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.

Production d'aluminium secondaire

Les données de consommation de combustibles proviennent des enquêtes EACEI [26] de 1999 à 2010. 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 CO₂

Les émissions de CO₂ 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 CH₄ et N₂O

Les émissions de CH₄ sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

3.2.5.2.3 Industrie agro-alimentaire (1A2e)

Données relatives à la production

De 1990 à aujourd'hui, les données de production de fourrage vert sont des données communiquées par la fédération (COOP de France déshydratation) [776]. Dans les dernières années, une augmentation de la consommation de biomasse en tant que combustible peut être observée.

Données relatives aux consommations de combustible

Les données de consommations de combustible sont connues pour les trois catégories de produits déshydratés : pulpes de betterave, luzerne et autres produits.

De 1990 à 2012, les données de consommation d'énergie par combustible et par type de produits sont communiquées par COOP de France déshydratation via une enquête annuelle qu'elle réalise [776].

De 2013 à 2019, même si ces données sont disponibles auprès de COOP de 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, suite aux différences observées entre les données E-PRTR et SEQUE, les données provenant du SEQUE ont été retenues car elles sont vérifiées par des organismes tiers.

Emissions de CO₂

A partir de 2013, les données spécifiques d'émission de CO₂ disponibles par l'intermédiaire des déclarations des émissions sont utilisées que ce soit dans le cadre du système d'échanges des quotas d'émissions (SEQUE) ou non (le même dispositif de déclaration servant au SEQUE et à l'E-PRTR) [19].

Jusqu'en 2012 inclus, les émissions de CO₂ 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 CH₄

Pour toutes les années, les émissions de CH₄ 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 N₂O

Pour toutes les années, les émissions de N₂O 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).

3.2.5.2.4 Minéraux non métalliques (1A2f)

Production de ciment

Pour les gaz à effet de serre (CO₂, N₂O et CH₄), 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].

Emissions de CO₂

A partir de 2005, les données spécifiques d'émission de CO₂ disponibles par l'intermédiaire des déclarations des émissions sont utilisées que ce soit dans le cadre du système d'échanges des quotas d'émissions (SEQUE) ou non (le même dispositif de déclaration servant au SEQUE et à l'E-PRTR) [19].

Jusqu'en 2004 inclus, les émissions de CO₂ 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 (1^{ère} période du SEQUE), à partir des déclarations des émissions par combustible [19].

Emissions de CH₄

Pour toutes les années, les émissions de CH₄ sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

Emissions de N₂O

Pour toutes les années, les émissions de N₂O sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

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 CO₂

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 CH₄

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 N₂O

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).

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 CO₂

Sur l'ensemble de la période, les émissions de CO₂ 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 CH₄

Sur l'ensemble de la période, les émissions de CH₄ 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 N₂O

Sur l'ensemble de la période, les émissions de N₂O sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par défaut tirés du GIEC 2006 [623], relatifs à chaque combustible.

Production de verre

Pour quantifier les gaz à effet de serre (CO₂, N₂O et CH₄), 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.

Emissions de CO₂

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 CO₂.

Les émissions ainsi obtenues par année et par combustible sont sommées pour estimer les émissions de CO₂ totales annuelles.

Emissions de CH₄

Pour toutes les années et quel que soit le type de verre produit, les émissions de CH₄ 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 N₂O

Pour toutes les années et quel que soit le type de verre produit, les émissions de N₂O sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible, appliqués uniformément à toutes les installations et présentés en section générale énergie.

Production de chaux

Selon les substances et le type de chaux, les approches méthodologiques passent :

- soit par l'utilisation de données spécifiques aux installations sur une base individuelle qui servent, par extrapolation à déterminer les émissions de l'ensemble des installations,
- soit par l'utilisation de données nationales de production et de facteurs d'émission associés (exemple : cas des particules),

- soit par l'utilisation de données nationales de consommation d'énergie et de facteurs d'émission (nationaux ou spécifiques à une année donnée).

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.

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).

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.

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 :

$$\text{Consommation surfacique par combustible} = (\text{consommation connue par combustible} / \text{production connue}) \times (\text{production nationale} - \text{production connue})$$

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 CO₂

La méthodologie mise en œuvre est la suivante. Elle permet d'assurer une cohérence temporelle.

A partir de 2005, les émissions de CO₂ 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 CO₂ par combustible déterminé par année sur la base des déclarations annuelles individuelles.

Pour les années antérieures à 2005, les émissions de CO₂ 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 CH₄

Pour toutes les années, les émissions de CH₄ sont estimées à partir des facteurs d'émission relatifs à chaque combustible appliqué uniformément à toutes les installations (cf. section générale énergie).

Emissions de N₂O

La méthode appliquée est similaire à celle du CH₄.

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].

Production de tuiles et briques

Les données de production proviennent de la Fédération Française des Tuiles et Briques [241].

Emissions de CO₂

A partir de 2005, les émissions de CO₂ 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 CO₂ par combustible (mix Tier 2/3).

Pour les années antérieures à 2005, les émissions de CO₂ 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 CO₂ recalculés depuis 2005 à partir des données des exploitants avec les facteurs d'émission CO₂ 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 CH₄

Sur l'ensemble de la période, les émissions de CH₄ 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 N₂O

Sur l'ensemble de la période, les émissions de N₂O sont déterminées à partir des consommations de combustibles et des facteurs d'émission par défaut relatifs à chaque combustible (cf. section générale énergie).

3.2.5.2.5 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 CO₂

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 CH₄ et N₂O

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.

3.2.5.3 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 le cas présent, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 3^{ème} niveau de la catégorie CRF (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 CO₂, 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 CH₄ et le N₂O, 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 réropolation des méthodes autant que possible.

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 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 CO₂ 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.

3.2.5.5 Recalculs

Impact des recalculs du CRF 1A2

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	65 746	69 919	68 556	67 075	65 721	64 456	62 146	54 238	57 646	56 079	55 559	53 580	50 324	50 078	50 636	48 717	49 713	47 873	0
Nouveau	kt CO ₂ e	65 165	69 426	67 669	66 129	64 639	63 742	61 890	53 008	56 310	53 088	51 756	51 229	48 652	47 794	47 676	45 418	46 517	44 424	42 187
Différence	kt CO ₂ e	-581	-493	-886	-945	-1 082	-713	-256	-1 230	-1 335	-2 991	-3 803	-2 351	-1 672	-2 283	-2 961	-3 299	-3 196	-3 449	+42 187
	%	-1%	-1%	-1%	-1%	-2%	-1%	-0%	-2%	-2%	-5%	-7%	-4%	-3%	-5%	-6%	-7%	-6%	-7%	-

Des recalculs à un niveau CRF 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 :

Révision du traitement des consommations de combustibles solides et gaz naturel liées à la production décentralisée d'électricité et de chaleur entre 2011 et 2020 (transfert en 1A1a) et réallocation d'une partie des consommations de l'autoproduction au secteur tertiaire (entre 10 et 20%) sur 1990-2020.

Pour les combustibles solides et le coke de pétrole, les données sources permettant de réaliser la répartition intersectorielle ont été révisées afin d'être plus représentatif de la méthodologie actuelle (e.g., soustraction des usages non-énergétiques pour les CMS de la sidérurgie, retrait des consommations des autres combustibles liquides de la chimie pour le coke de pétrole), entraînant une réallocation des émissions entre les différents secteurs (totaux 1A2 inchangés).

De plus, la part de biométhane provenant du réseau de distribution a été isolée des consommations totales de gaz naturel afin d'être correctement allouée à la biomasse. Également, les consommations totales de gaz naturel ont été diminuées suite à un changement de traitement des données des stations de compression (transport du gaz naturel) qui, après de nouveaux échanges avec le SDES, ont été reconnues comme non incluses dans le total du bilan de l'énergie.

Les données des combustibles spécifiques non couverts par le bilan de l'énergie du SDES, provenant directement des déclarations ETS, ont été révisées, afin notamment de mieux prendre en compte les combustibles d'origine biomasse.

Le traitement des consommations de gaz de raffinerie entre les secteurs du raffinage et de l'industrie, en corrélation avec les données ETS et celles du bilan de l'énergie, a également été révisé, entraînant une baisse globale sur toute la série (impacts les plus importants pour 1990-1998, 2015 et 2018-2019) hors 2007-2009 où une hausse assez significative des consommations est constatée.

Enfin, les données du bilan de l'énergie du SDES ont été révisées pour la période 2011-2019, avec notamment : une baisse des consommations de biomasse solide (-4500 à -7500 TJ sur 2011-2017, -

2630 TJ en 2018 et -710 TJ en 2019), légère hausse des consommations de coke de houille, et une légère révision des données de consommations de fiouls domestique et lourd pour 2019 seulement.

Enfin, en termes de facteurs d'émissions, le FE CO₂ du gaz naturel a été revu légèrement à la baisse (variant de -0,2 à -0,4%) sur la période 1990-2013 (hors 2008-2009) et 2019 suite à un changement de méthodologie du traitement des données de FE spécifiques à la France. De plus, les facteurs d'émissions du gaz de raffinerie et du biogaz ont été recalculés spécifiquement en fonction des données ETS et rétropolés avant 2013. Les facteurs d'émission spécifiques provenant des données d'activité et d'émissions de l'ETS, pour les combustibles non couverts par le bilan de l'énergie du SDES, ont également été révisés suite à la modification des données prises en compte (e.g., transfert de certaines consommations en procédés, meilleure prise en compte des combustibles partiellement biomasse, etc.) et la méthodologie de rétropolation a également été réaffinée.

- Sources mobiles :

Pour le secteur du BTP, les consommations de diesel et biodiesel ont été revues à la baisse pour 2012 et 2015-2019 (impact significatif sur 2017-2019) afin de retirer la part de consommations des territoires Outre-mer pour ces années-là. De plus, pour 2019, le pourcentage de biodiesel ainsi que la consommation de diesel du bilan de l'énergie du SDES ont été légèrement révisés.

Pour les autres secteurs, les données sources provenant des enquêtes EACEI, permettant le recalcul des consommations de diesel et GPL dans les engins mobiles, ont été partiellement révisées pour la période 2010-2019 (impact principal en 2013 et 2019).

En termes de facteurs d'émission, aucun changement notable n'est à signaler.

- Sources spécifiques 1A2 :

- Fonderie de fonte : mise à jour de la production de fonte de l'année 2019 à partir de données de la profession, révision légèrement à la baisse (variant de -0,2 à -0,4%) des facteurs d'émission du CO₂ du gaz naturel sur la période 1990-2013 (hors 2008-2009) et en 2019;
- Déshydratation de luzerne : révision légèrement à la baisse des FE CO₂ du gaz naturel de 1990 à 2012 ;
- Email : mise à jour de la production d'un site pour 2010 (-7,6%) et révision légèrement à la baisse (variant de -0,2 à -0,4%) du FE CO₂ du gaz naturel sur la période [1990-2013 (hors 2008-2009), 2019] ;
- Cuivre : légère révision à la baisse des FE CO₂ du gaz naturel sur [1990-1998];
- Magnésium : légère révision à la baisse des FE CO₂ du gaz naturel sur les années [1990-2001] ;
- Plomb et de zinc de première fusion : pour les deux types de production, révision légèrement à la baisse des FE CO₂ du gaz naturel sur la période 1990-2013 (hors 2008-2009) et en 2019 ; pour la production de zinc de première fusion, ajout des consommations (de fioul domestique, gaz naturel et GPL) d'un site, impactant à la hausse les émissions de CO₂ (+2,4%), CH₄ (+2%) et N₂O (+1,4%) ;
- Plomb et de zinc de seconde fusion : légère révision à la baisse des FE CO₂ du gaz naturel sur les années [1990-2013 (hors 2008-2009), 2019] ;
- Aluminium secondaire : mise à jour légèrement à la baisse de la production d'un site pour 2019 (impact mineur de -0,65% sur production totale) ; mise à jour des FE CO₂ du gaz naturel sur les années [1990-2013 (hors 2008-2009), 2019] ;
- Céramiques :
 - Mise à jour de la consommation de gaz naturel et de gazole [2017-2019] ;
 - Mise à jour du calcul des émissions de CO₂ (impact depuis 2014) et N₂O (impact depuis 2015) et CH₄ (pas d'impact) pour les consommations de gazole ;
 - Mise à jour du facteur d'émission CO₂ du gaz naturel [1990-2007 ; 2010-2013 ; 2019]

- Verre :
 - Réaffectation de la consommation de coke de pétrole en coke de houille pour un site, avec impact sur les émissions de N₂O et CH₄ [2019] ;
 - Mise à jour des émissions CO₂ liées au gaz naturel pour un site [2019]
 - Mise à jour de la consommation de gaz naturel pour un site, avec impact sur les émissions de CH₄ et N₂O [2019].
- Ciment : Calcul de la consommation de 121B non-biomasse depuis 2005 : correction d'une erreur dans la formule. Pour calculer les consommations de 121B non-biomasse, on faisait appel à la consommation en tonnes de 214A. Erreur corrigée. Cela impacte la consommation calculée de 224 depuis 2005. Pas d'impact sur les émissions CO₂ entre 2005 et 2019, mais impact entre 1990 et 2004, car les facteurs d'émission utilisés pour calculer les émissions sur cette période sont basés sur la moyenne des facteurs d'émission calculés sur 2005-2013 qui reposent eux-mêmes sur les consommations sur cette même période. Pas d'impact N₂O ou CH₄ ;
- Tuiles et briques :
 - Fermeture d'un site en juillet 2019 : division des données initialement calculées de l'année 2019 par 2, impact sur toutes les émissions estimées [2019] ;
 - Mise à jour du facteur d'émission CO₂ du gaz naturel [1990-2004] ;
 - Mise à jour du calcul des émissions de CO₂ pour un site [2019]
- Enrobage routier :
 - Gaz naturel : mise à jour du facteur d'émission CO₂ [1990-2013, 2019].

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude et de la cohérence temporelle.

3.2.5.6 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 CO₂ 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.

3.2.6 Transports (1A3)

3.2.6.1 Caractéristiques de la catégorie

En 2020, pour la France au périmètre Kyoto, les différentes catégories clés (hors UTCATF) du secteur du transport (CRF 1A3) en termes de niveau d'émissions et d'évolution des émissions sont les suivantes :

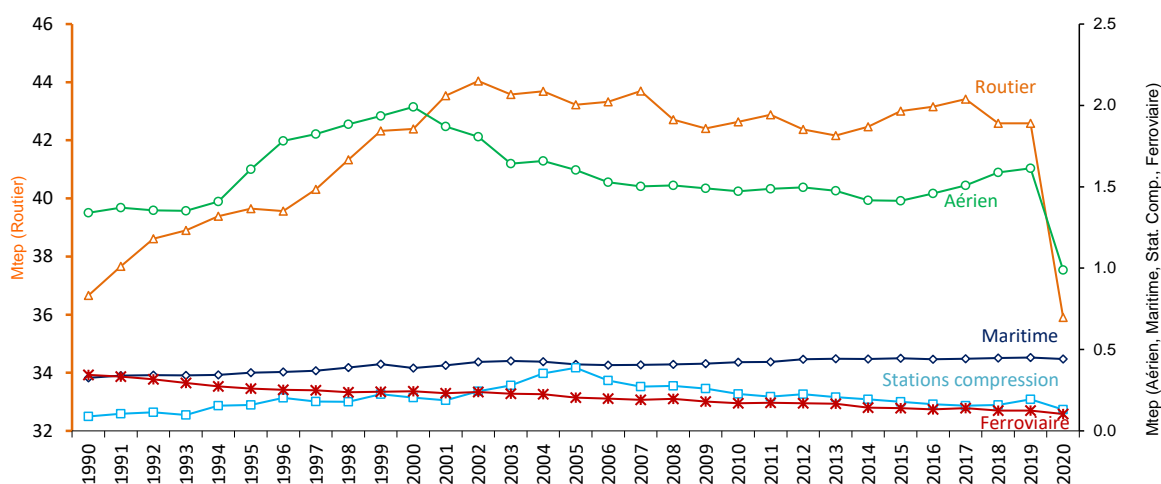
Tableau 52 : Substances pour lesquelles le secteur 1.A.3 est source clé en 2020 (hors UTCATF*, périmètre Kyoto)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A3a	CO ₂	25 ^{ème}	0,8%	-	-
	CO ₂	1 ^{er}	26,3%	1 ^{er}	10,4%
1A3b	N ₂ O	42 ^{ème}	0,3%	-	-
	CH ₄	-	-	53 ^{ème}	0,3%
1A3c	CO ₂	-	-	58 ^{ème}	0,2%
1A3d	CO ₂	40 ^{ème}	0,3%	56 ^{ème}	0,3%

* 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 95,6 % (périmètre Kyoto) de la consommation du secteur du transport en 2020.

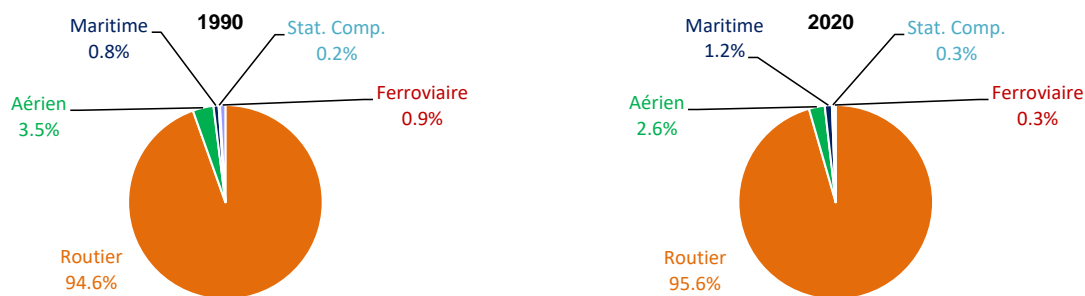
Figure 31 : Consommation des différents modes de transports sur la période 1990 - 2020 et répartition en 2020 (y compris agro-carburants) (Périmètre Kyoto)



Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2022

transports.xls/Transports

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020



Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2022

transports.xls/Transports

Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2022

transports.xls/Transports

3.2.6.1.1 Transport aérien (1.A.3.a.)

Le transport aérien est à l'origine d'émissions de diverses substances dans l'atmosphère. Ces dernières sont constituées schématiquement par :

- Les rejets lors de la combustion de carburants par les équipements de propulsion ou de servitude (par exemple les APU). Les engins militaires sont exclus pour des raisons de confidentialité. L'ensemble de l'activité militaire est inclus dans les sources institutionnelles (1.A.4.),
- Les émissions connexes attachées aux aéronefs (usure des pneumatiques, des freins, érosion des pistes, etc.),
- Les émissions liées aux activités environnantes telles que : engins de piste, trafic routier induit, servitudes aéroports (chaufferie, restauration, entretien espaces verts, etc.). Ces sources sont généralement incluses dans les activités de même nature à une échelle plus générale (par exemple trafic routier, combustion, etc.). C'est pourquoi, cette catégorie n'est pas traitée dans cette section. Au niveau de la plateforme aéroportuaire, elles sont d'importance variable selon la taille du site. Il est parfois justifié de les appréhender spécifiquement. Le lecteur se reportera éventuellement au guide méthodologique développé par le Citepa [697].

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

- Une altitude de rejet dans un domaine beaucoup plus étendu et variable au cours du vol, comprise entre le sol et plus de 10 000 m,
- Une localisation des rejets très étendue située dans des pays différents pour un même aéronef en vol international.

Par suite, en application des règles convenues dans le cadre des conventions internationales mais également de la particularité de la répartition du territoire français hors Europe ainsi que de la variabilité des caractéristiques de fonctionnement des aéronefs au cours des différentes phases de vol, il est nécessaire de décomposer le trafic aérien en sous-ensembles relatifs :

- A la phase de vol, dite « LTO (Landing and Take Off) », située au-dessous 3 000 pieds (914 m, souvent arrondi à 1 000 m),
- A la phase de vol, dite « croisière », au-dessus de 3 000 pieds (914 m souvent arrondi à 1 000 m).

Chacun de ces deux sous-ensembles est lui-même partagé en :

- Trafic domestique ou intérieur (liaisons entre deux points situés dans le pays considéré, en l'occurrence la France),

- Trafic international (liaisons entre deux points, 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 :

	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),
- Le roulage sur la piste (après l'atterrissage et avant le décollage),
- Le parking,
- Le décollage,
- La montée (jusqu'à 3 000 pieds).

Les émissions dépendent de la durée de chacune de ces phases (elle-même variable selon les aéroports et les couples avion x moteur) et des caractéristiques des aéronefs (notamment du couple avion x moteur et des conditions d'exploitation).

Les émissions des APU (« Auxiliary Power Unit ») sont estimées et incluses dans les émissions LTO.

L'APU est un petit turboréacteur embarqué, qui permet à l'avion d'être autonome en escale pour l'air et l'électricité.

La croisière

La partie du vol au-dessus de 3 000 pieds dite « croisière » comporte :

- La montée (de 3 000 pieds à l'altitude de croisière),
- La croisière stabilisée (partie du vol à altitude stabilisée),
- La descente (de l'altitude de croisière à 3 000 pieds).

Les émissions dépendent de la durée de chacune de ces phases (elle-même variable selon les types d'avions) et des caractéristiques des aéronefs (selon les types d'avions et les conditions d'exploitation).

Données caractéristiques du trafic civil

Les données relatives aux mouvements des aéronefs sont recensées par la DGAC [127, 131, 132, 1137]. Ces données correspondent aux vols commerciaux et non commerciaux. Le temps de « taxi » est déterminé pour chaque aéroport, lorsque ces données sont disponibles dans les bases de la DGAC. En l'absence d'information, des données moyennes des années disponibles sont appliquées. Les aéroports pour lesquels aucune information n'est disponible se voient appliquer des temps forfaitaires et sont regroupés selon les classes suivantes :

- Roissy et Orly,
- Les 11 aéroports français dont les trafics commerciaux (en nombre de mouvements) sont les plus importants après Roissy et Orly : Ajaccio, Bâle-Mulhouse, Bordeaux-Aquitaine, Lille-Lesquin, Lyon-Satolas, Marseille-Provence, Montpellier-Méditerranée, Nantes-Atlantique, Nice-Côte d'Azur, Strasbourg-Entzheim, Toulouse-Blagnac,
- Les autres aéroports français,
- Les aéroports internationaux étrangers.

Les informations sur la motorisation des aéronefs et les consommations associées proviennent de différentes sources [903, 127, 128, 129, 130]. Certaines assimilations sont opérées en cas d'information manquante ou de multiples motorisations.

Le partage des liaisons entre métropole et l'Outre-mer (avec distinction des Territoires inclus dans l'Union Européenne -UE- ou non) est effectué en retenant l'hypothèse du partage pour moitié des liaisons respectives entre ces trois ensembles.

Données statistiques de consommation

Les données de ventes de carburants à usage de l'aviation [14] sont disponibles et permettent d'assurer un bouclage sur les consommations totales de carburants avions. Pour les territoires d'Outre-mer inclus ou non dans l'UE, c'est le bilan de l'énergie compilé par le Citepa qui est utilisé [666].

La consommation relative à la croisière internationale de la Métropole ($Conso_{CR,Int,MT}$) est bornée par le solde obtenu entre le total des ventes françaises ($VENTES_{MT+OM}$) diminué des consommations déterminées pour les cycles LTO des vols domestiques et internationaux pour la Métropole et l'Outre-Mer ($Conso_{LTO,Dom,MT}$, $Conso_{LTO,Dom,OM}$, $Conso_{LTO,Int,MT}$, $Conso_{LTO,Int,OM}$) ainsi que pour les croisières des vols domestiques pour la Métropole et l'Outre-Mer ($Conso_{CR,Dom,MT}$, $Conso_{CR,Dom,OM}$) et la croisière internationale pour Outre-mer ($Conso_{CR,Int,OM}$).

$$Conso_{CR,Int,MT} = \left| \begin{array}{l} VENTES_{MT+OM} \\ -Conso_{LTO,Dom,MT} - Conso_{LTO,Dom,OM} \\ -Conso_{LTO,Int,MT} - Conso_{LTO,Int,OM} \\ -Conso_{CR,Dom,MT} - Conso_{CR,Dom,OM} \\ -Conso_{CR,Int,OM} \end{array} \right|$$

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

Dans ce sous-secteur des transports, la consommation et les rejets lors de la combustion des carburants par les équipements de propulsion ou de servitude sont pris en compte. Les engins militaires sont exclus pour des raisons de confidentialité (l'ensemble de l'activité militaire est inclus dans le CRF 1.A.5.). De même, les émissions liées aux activités environnantes (engins de piste, trafic routier induit, chaufferie, etc.) ne sont pas incluses en 1.A.3.a. mais dans les activités de même nature à une échelle plus générale (par exemple les consommations des engins de pistes sont comptabilisées dans le 1.A.2.g., le trafic routier induit dans le 1.A.3.b., etc.).

Le pic des émissions de CO₂ et de N₂O a été atteint en 2000 (cf. Figure 32) pour le transport domestique. Depuis, une baisse régulière est observée, qui semble s'être stabilisée entre 2007 et 2015 alors que le trafic subit une hausse continue (cf. Figure 35).

Cette décorrélation des émissions et des consommations vis-à-vis du trafic est liée d'une part à la mise en place sur les avions de moteurs moins énergivores et moins polluants (qui explique la tendance des émissions de CH₄), 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 depuis 2015 ne compense pas complètement la baisse des consommations unitaires. En 2020, la crise sanitaire du Covid-19 a eu une influence très forte sur le trafic, les consommations et les émissions.

Figure 32 : Emissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile domestique (périmètre Kyoto)

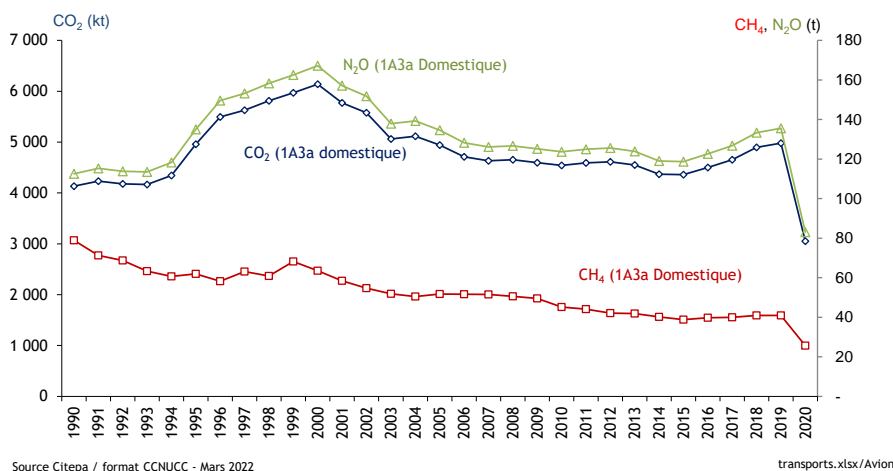
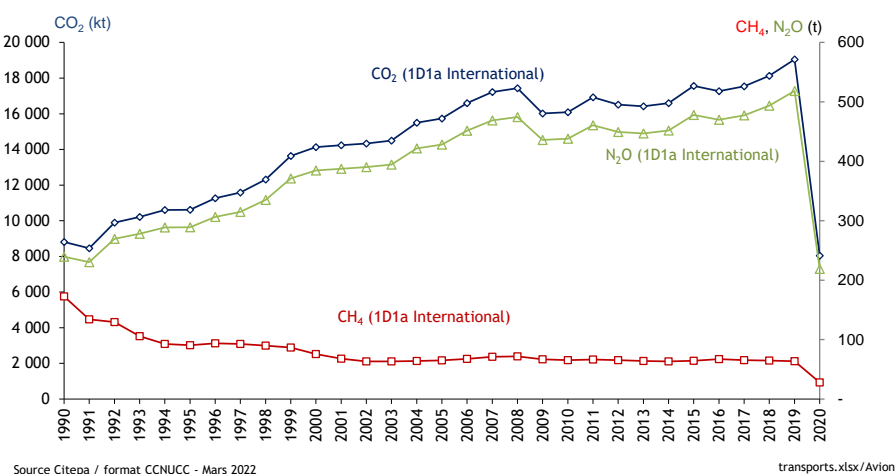
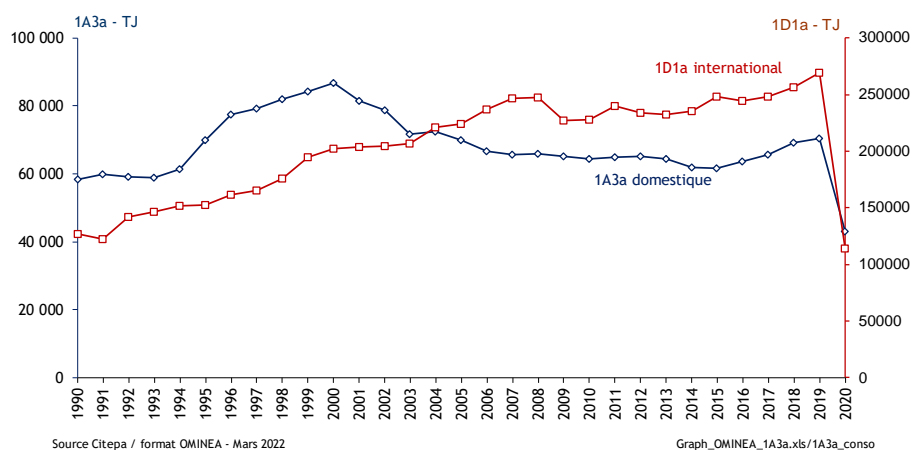


Figure 33 : Emissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile internationale (périmètre Kyoto)



Le graphique suivant présente l'évolution des consommations de carburants de l'aviation civile touchant la Métropole et l'Outre-mer (les consommations du trafic international sont données à titre indicatif car non comptées dans cette catégorie).

Figure 34 : Consommations de carburants de l'aviation civile touchant la Métropole et l'Outre-mer



Les figures suivantes présentent l'évolution du nombre de passagers du trafic domestique et du trafic international.

Figure 35 : Trafic domestique en milliers de passagers

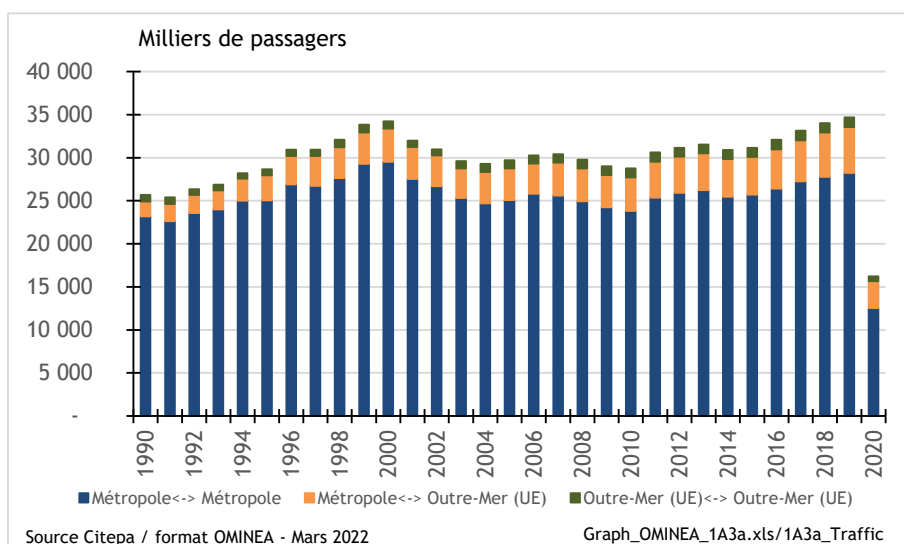
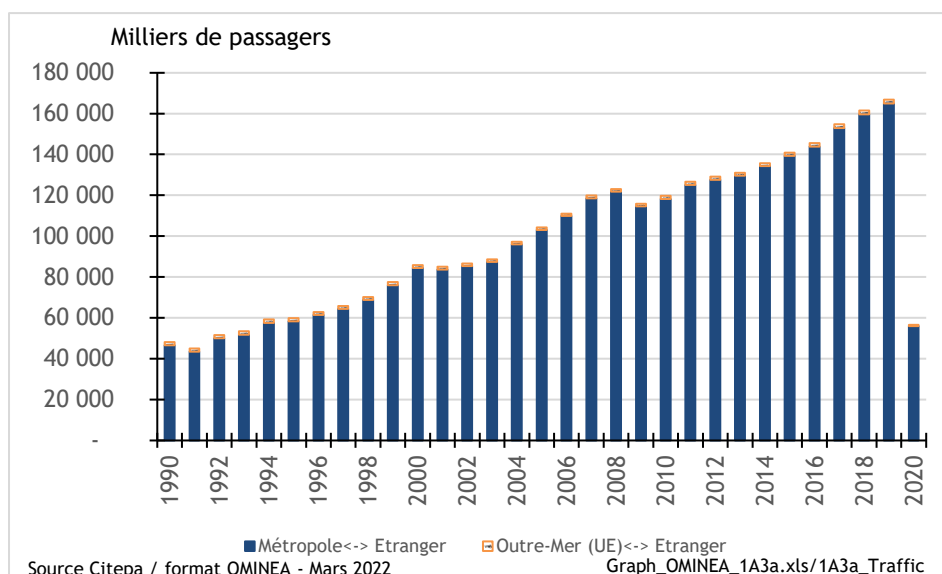


Figure 36 : Trafic international en milliers de passagers



3.2.6.1.2 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 liées à la combustion et son post-traitement,
- Les émissions liées à l'évaporation des carburants et 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 liées à l'abrasion
 - L'abrasion mécanique de divers organes des véhicules (freins, pneumatiques),
 - L'usure du revêtement routier.

Il faut observer (Figure 39) que l'année 2004 a enregistré le plus haut niveau d'émission de CO₂. Ces émissions sont depuis en recul, traduisant notamment une évolution des comportements du fait de l'impact des hausses des prix des carburants (Figure 37) et de vitesses plus limitées (mise en place de radars automatiques, Figure 38), ainsi que le renouvellement du parc roulant incluant des modèles moins énergivores. A cela, il convient d'ajouter l'augmentation de la part d'agro-carburants incorporés (uniquement en métropole car il n'y a, à ce jour, pas d'incorporation d'agro-carburants en Outre-mer). Le bas niveau des émissions en 2008 et 2009 est lié à la crise économique qui a induit une augmentation rapide du prix des carburants et donc un changement dans les comportements de déplacements.

Figure 37 : Prix des carburants à la pompe (Métropole)

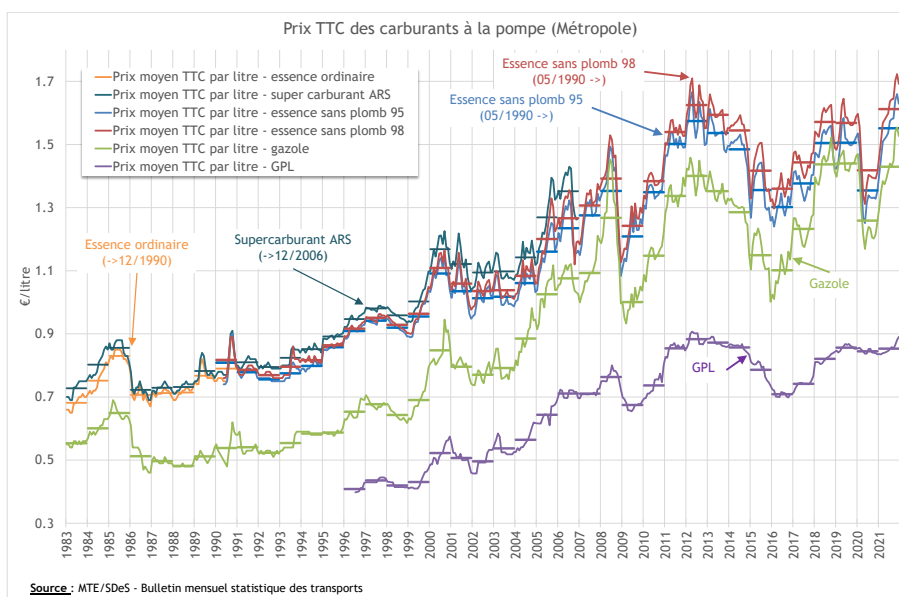
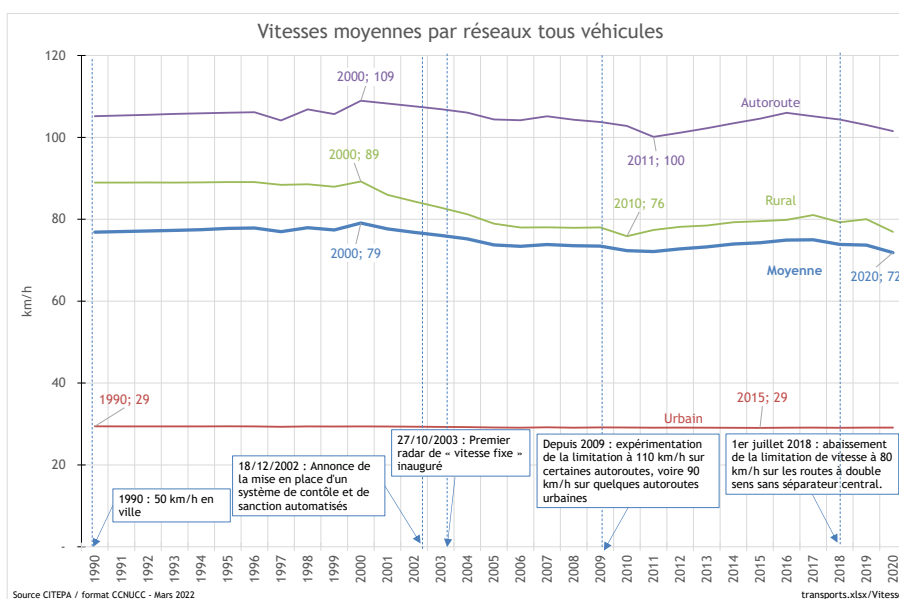


Figure 38 : Vitesses moyennes par réseaux tous véhicules (Métropole)

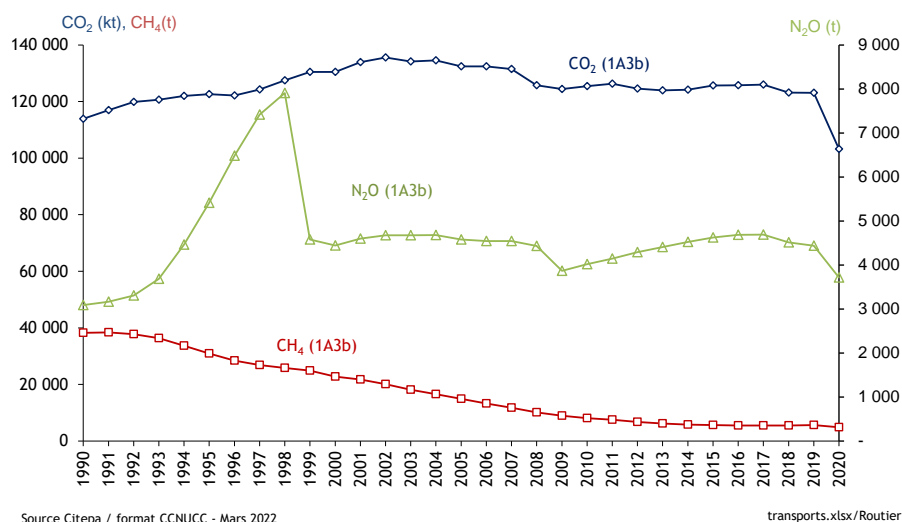


Les fortes baisses de N_2O entre 1998 et 1999 et entre 2008 et 2009 sont liées au changement de taux de soufre dans les carburants en Métropole (cf. Méthode d'estimation des émissions de N_2O du transport routier plus loin). La hausse progressive et continue des émissions avant 2000 est liée aux voitures particulières essence Euro 1. La diésélisation du parc (cf. Figure 41) 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 une influence très forte sur le trafic, les consommations et les émissions.

Figure 39 : Emissions de gaz à effet de serre du transport routier en France métropolitaine et en Outre-mer (périmètre Kyoto)



La figure ci-dessous 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 41).

Les carburants alternatifs (GPLc et GNV) ont des niveaux très bas (< 0,2 %) et ont des variations qui sont fonctions des incitations fiscales sur ces carburants et à l'achat des véhicules neufs.

Figure 40 : Consommations des différents carburants du transport routier sur la période 1990 - 2020 et répartition en 1990 et 2020 (y compris agro-carburants) (Périmètre Kyoto)

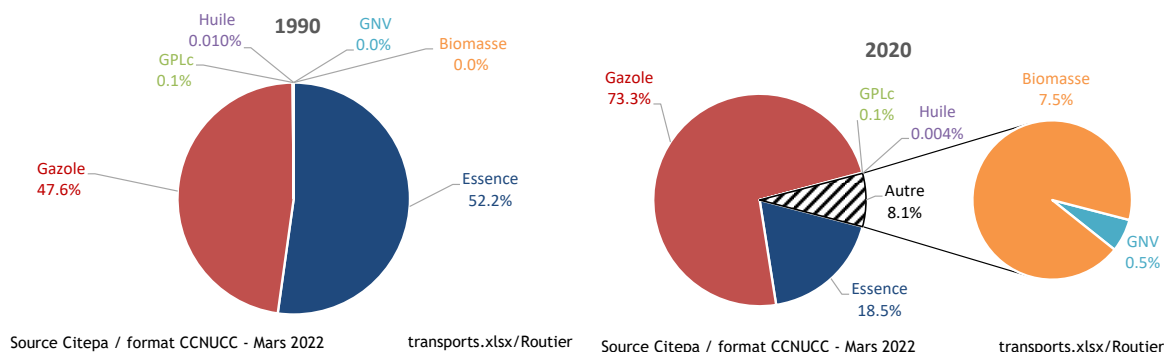
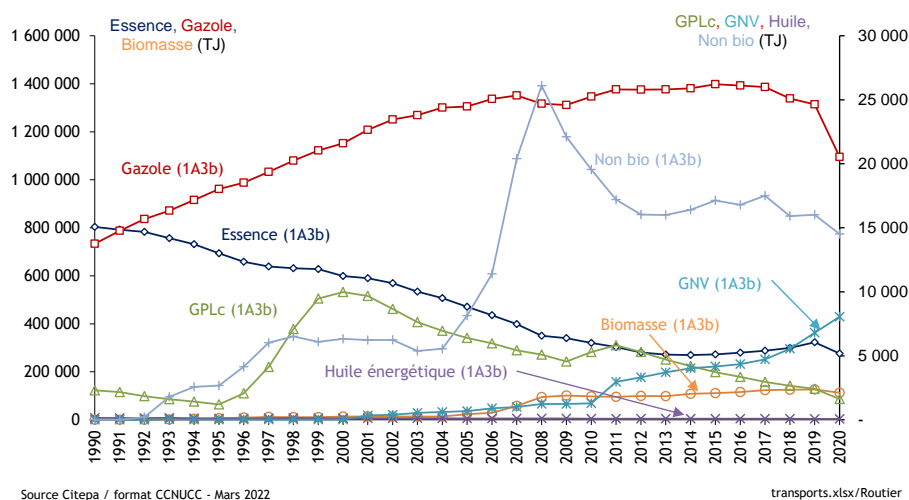


Figure 41 : Taux de diésélisation du parc des véhicules particuliers en France

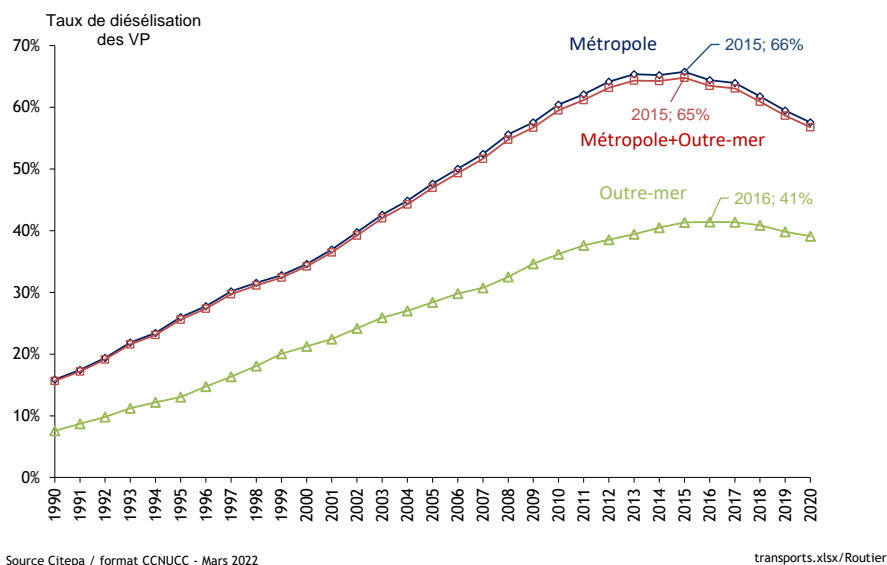
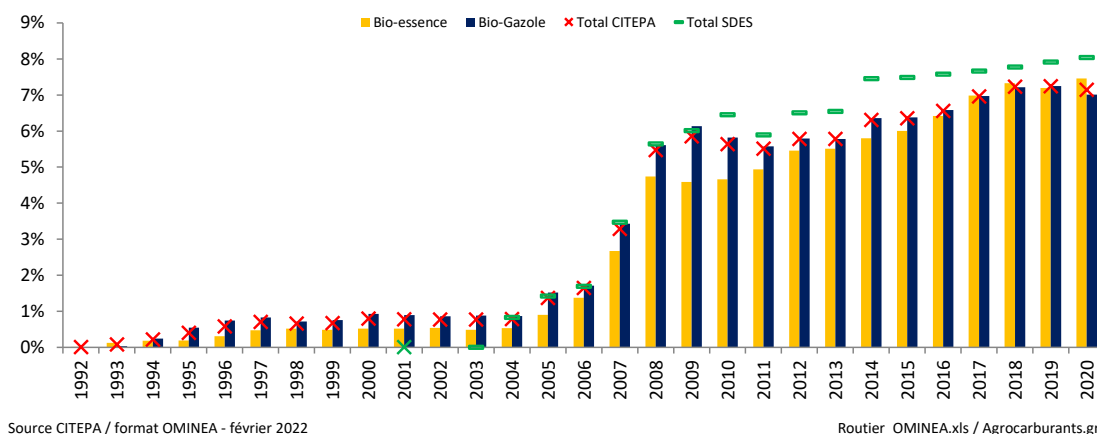


Figure 42 : Taux d'incorporation d'agro-carburants en France métropolitaine



Concernant les agro-carburants, une légère différence est observée entre le total Citepa et celui du SDeS (DGE) en ce qui concerne le taux d'incorporation d'agro-carburants (Figure 42). 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 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 les tableaux de la Figure 43, les parties non-bio des agro-carburants sont incluses dans les produits pétroliers.

**Figure 43 : Consommations des différents combustibles en France métropolitaine et en Outre-mer.
Répartition des consommations pour l’Outre-mer entre les DOM (périmètre Kyoto) et les autres territoires
(COM)**

routier_ominea_2022.xlsx										
Conso Métropole (kt)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Essence (kt)	17837	17558	17357	16821	16256	15387	14667	14297	14209	14102
Bio-Essence (kt)	0	0	4.2	35	49	47	75	110	121	112
Essence+Bio-Essence (kt)	17837	17558	17361	16856	16304	15435	14741	14407	14330	14213
Gazole (kt)	16997	18242	19371	20201	21207	22273	22854	23897	25006	25971
Bio-Gazole (kt)	0	0	0.6	7.1	58	139	195	227	206	225
Gazole+Bio-Gazole (kt)	16997	18242	19371	20208	21265	22412	23049	24123	25211	26196
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Essence (kt)	13436	13217	12735	11906	11304	10609	9966	9489	8740	8397
Bio-Essence (kt)	114	112	112	95	98	156	223	410	661	614
Essence+Bio-Essence (kt)	13550	13329	12847	12001	11402	10765	10190	9899	9401	9011
Gazole (kt)	26644	27929	28919	29311	30026	30116	30824	31174	30386	30270
Bio-Gazole (kt)	284	286	286	296	300	528	610	1259	2054	2250
Gazole+Bio-Gazole (kt)	26928	28215	29205	29607	30326	30645	31435	32434	32440	32520
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Essence (kt)	7851	7435	6925	6697	6697	6799	6975	7266	7560	8139
Bio-Essence (kt)	584	584	599	585	609	635	672	751	824	873
Essence+Bio-Essence (kt)	8434	8019	7525	7282	7306	7433	7647	8017	8384	9013
Gazole (kt)	31059	31738	31694	31718	31828	32197	32067	31920	30807	30222
Bio-Gazole (kt)	2179	2124	2209	2214	2443	2474	2541	2675	2673	2604
Gazole+Bio-Gazole (kt)	33238	33862	33904	33931	34271	34672	34607	34595	33480	32826
	2020									
Essence (kt)	6977									
Bio-Essence (kt)	805									
Essence+Bio-Essence (kt)	7782									
Gazole (kt)	25389									
Bio-Gazole (kt)	2147									
Gazole+Bio-Gazole (kt)	27536									

routier_ominea_2022.xlsx										
Conso DOM&COM (kt)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Essence (kt)	536	551	566	575	586	589	583	580	523	531
Gazole (kt)	322	346	369	393	412	424	478	478	492	518
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Essence (kt)	535	558	555	549	547	530	511	506	485	470
Gazole (kt)	547	589	628	653	689	712	744	777	808	825
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Essence (kt)	466	442	438	429	419	430	449	443	458	472
Gazole (kt)	858	866	878	890	893	923	952	944	928	935
	2020									
Essence (kt)	432									
Gazole (kt)	853									

routier_ominea_2022.xlsx

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

à

3.2.6.1.3 Transport ferroviaire (1.A.3.c.)

Deux sources d'émissions sont différenciées : les émissions issues de la combustion et les émissions provenant de l'usure des freins, rails, roues et caténaires.

En ce qui concerne les émissions liées à la combustion, seuls les modes de tractions à motorisation Diesel, à savoir les locomotives, les autorails et les locotracteurs sont considérés. La traction électrique est supposée ne pas émettre de gaz à effet de serre liés à l'utilisation de l'énergie, les émissions liées à la production d'électricité étant comptabilisées au lieu de la production. Depuis 2011, le gazole non-routier (GNR) remplace le gazole dans le ferroviaire qui lui-même a remplacé le fioul domestique en 2006.

Le GNR (à partir de 2011) et le gazole (à partir de 2006) ont permis l'incorporation d'agro-carburants.

Le fuel domestique, le gazole et le GNR sont des carburants aux caractéristiques quasi-identiques (excepté pour la teneur en soufre). Ils ont le même facteur d'émission de CO₂ d'origine fossile. Le GNR est un produit identique au gazole routier qu'il a remplacé mais avec des taxations différentes. Ce carburant a permis de diminuer le taux de soufre et ainsi préparé la mise en place de système de dépollution comme dans le routier.

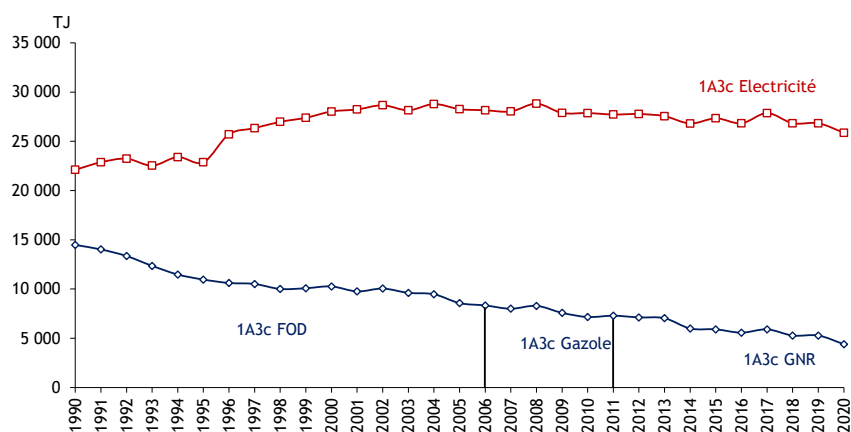
Le transport ferroviaire n'a lieu qu'en métropole.

Cette section couvre les émissions du transport ferroviaire de voyageurs et de marchandises. Les émissions des sources fixes (gares, locaux, etc.) ne sont pas considérées ici mais dans le secteur résidentiel/tertiaire.

L'utilisation du charbon dans les trains commerciaux s'est arrêtée en 1974. Il existe encore quelques trains touristiques qui fonctionnent avec du charbon, mais les quantités mises en œuvre sont trop faibles pour apparaître dans le bilan de l'énergie. Le charbon utilisé et les émissions de GES associées pour ces engins sont donc inclus dans le secteur 1.A.4.a.

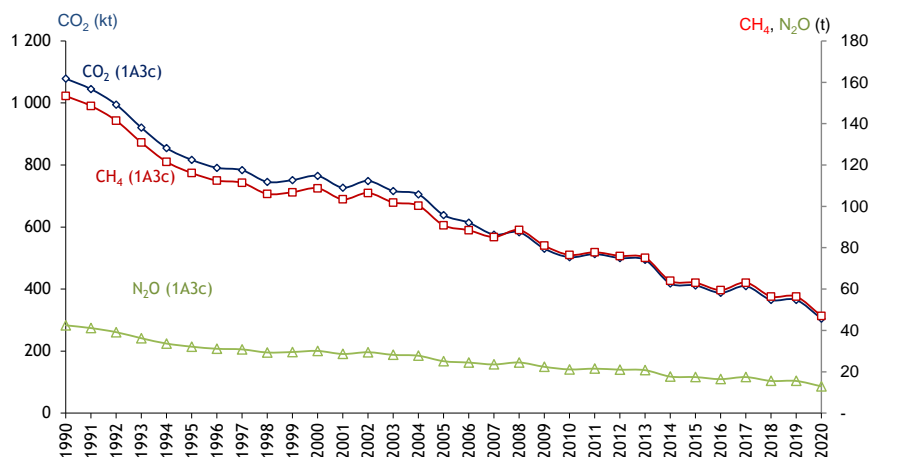
Alors qu'elle était de 40 % en 1990, la consommation d'énergie des tractions diesel représente désormais environ 15 % de la consommation totale d'énergie de la traction ferroviaire.

En 2020, la crise sanitaire du Covid-19 a eu une influence très forte sur le trafic (surtout passager), mais moins sur les consommations et les émissions.

Figure 44 : Consommations d'énergies (y compris agro-carburants) du transport ferroviaire en France métropolitaine

Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2022

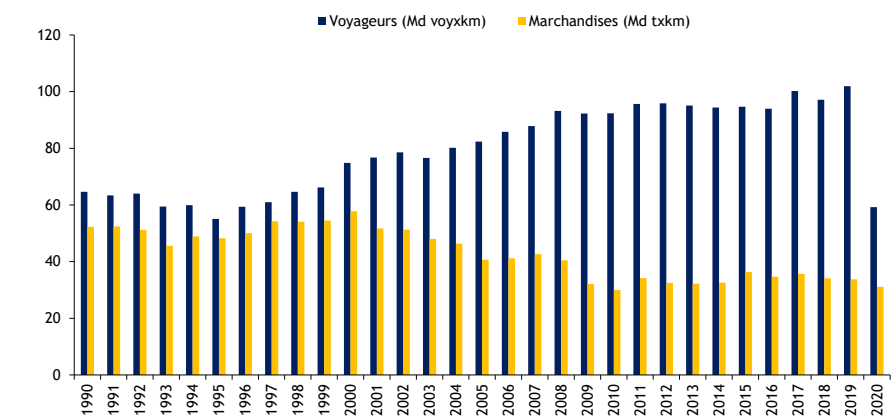
transports.xlsx/Ferroviaire

Figure 45 : Emissions de gaz à effet de serre du transport ferroviaire en France métropolitaine

Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2022

transports.xlsx/Ferroviaire

La baisse des consommations et des émissions est décorrélée des trafics car les engins à propulsion Diesel sont remplacés par des engins à propulsion électrique.

Figure 46 : Trafics ferroviaires de passagers (en Milliard de voyageursxkilomètres) et de marchandises (en Milliard de tonnesxkilomètres)

Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2021

transports.xlsx/Ferroviaire

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

La méthode appliquée est de rang GIEC 1.

Cette catégorie regroupe les émissions de la combustion de différentes activités :

- le transport des biens et des personnes par voie maritime entre 2 ports français,
- le transport de marchandises sur les voies navigables intérieures (fleuves, canaux, etc.).

Transport maritime

L'utilisation de combustibles fossiles dans les équipements de propulsion des navires engendre comme tout phénomène de combustion des émissions dans l'atmosphère. Les éventuelles émissions liées à d'autres phénomènes (fuites diverses au remplissage et au chargement de produits solides, liquides ou gazeux, des systèmes frigorifiques, etc.) ne sont pas prises en compte faute d'informations.

En application des règles convenues dans le cadre des conventions internationales mais également de la particularité de la répartition du territoire français hors Europe, il est nécessaire de décomposer le trafic maritime en sous-ensembles relatifs :

- Au trafic domestique, liaisons entre deux ports d'un même pays ;
- Au trafic international, liaisons entre deux ports dont l'un est situé dans un pays étranger.

Le pavillon, la nationalité de l'armateur, etc. ne sont pas des critères déterminants du pays auquel les émissions sont affectées.

L'activité de transport maritime est caractérisée par la consommation de combustibles. Bien que cette dernière diffère selon le type de navire, sa jauge et les diverses phases de navigation (croisière, approche/départ, stationnement dans les ports), les inventaires nationaux s'appuient actuellement sur la consommation totale de combustibles. Une distinction plus fine selon les paramètres cités ci-dessus est certainement plus pertinente vis-à-vis des émissions d'une zone particulière telle qu'un port, un estuaire, une liaison, etc.

Le CPDP [14] communique chaque année les consommations pour la métropole de diesel marin léger et de fioul lourd des soutes françaises et internationales. La même référence renseigne globalement les soutes pour l'Outre-mer y compris les COM (pas de distinguo national/international). Il est utile de rappeler que :

- Les soutes n'incluent pas les avitaillements sous douane destinés aux bateaux de pêche, aux navires d'assistance ainsi qu'aux engins et matériels flottants ;
- La distinction entre les soutes françaises et internationales est établie en fonction du pavillon du navire, sachant que les navires étrangers autorisés à transporter pour le compte d'affréteurs français sont pris en compte avec les soutes françaises.

La DIMAH [167] fournit des données équivalentes jusqu'en 2000 pour l'Outre-mer y compris les COM. Pour ces territoires, l'absence de données détaillées après cette date est palliée par l'hypothèse d'une structure inchangée dans la répartition des combustibles par type d'usage. Les écarts engendrés sont faibles en valeur absolue compte tenu des quantités en jeu et du bouclage sur le bilan énergétique global de chacun de ces territoires.

La répartition du trafic entre liaisons nationales et internationales est complexe à établir car les données existantes ne permettent pas d'en faire durablement la distinction. L'absence de données détaillées concernant la part des ventes des soutes maritimes affectée au trafic domestique au regard de celles affectées au trafic international est palliée par l'hypothèse d'une répartition inchangée, établie selon une procédure de type bottom-up décrite ci-après pour l'année de référence 2005.

Pour les territoires d’Outre-mer inclus dans 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 %

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 %		

Procédure bottom-up pour l’année de référence 2005 de discernement des ventes relatives au trafic maritime domestique et trafic maritime international

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

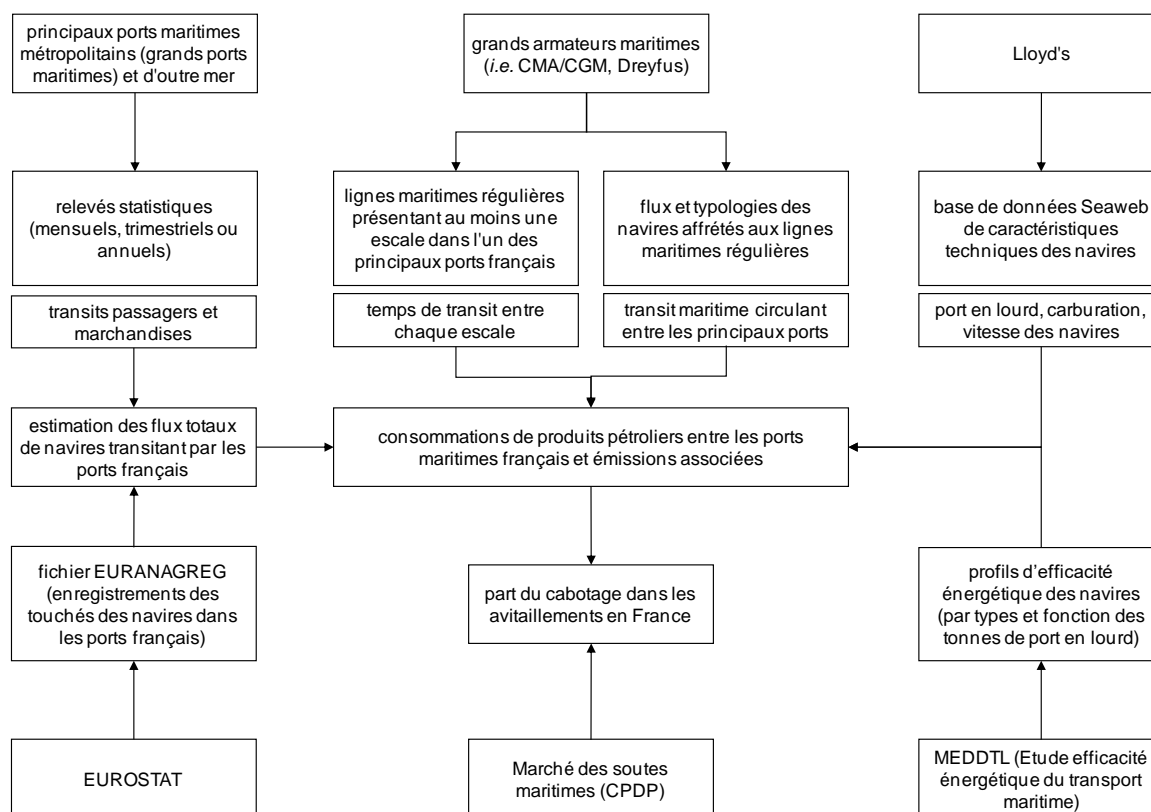
- La part des « soutes maritimes françaises » (c’est-à-dire des pavillons français) dont les consommations de carburant correspondent à des liaisons entre deux ports français (cabotage ou escale technique) ;
- La part des « soutes maritimes internationales » (c’est-à-dire des pavillons étrangers) dont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

Les sources d’information identifiées pour estimer la part des avitaillements en France consacrée à la navigation domestique en 2005 proviennent :

- Des grands armateurs maritimes (eg CMA/CGM, Dreyfus) : couvrant une part importante du trafic maritime international. Ces acteurs exploitent des navires affectés à des lignes régulières (l’essentiel du transport des produits finis) et à du transport à la demande (l’essentiel du transport des matières premières). Pour les lignes régulières, les escales intermédiaires sont précisées dans le cadre de la communication commerciale des opérateurs, ainsi que le temps de transit entre chacune d’entre elles. Pour le transport à la demande, il est possible d’obtenir également les itinéraires consolidés des navires.
- De la Lloyd’s : la base de données Seaweb [445] à laquelle le Ministère chargé de l’environnement a accès permet de connaître toutes les spécifications techniques des navires à partir de leur nom ou de leur identifiant OMI. Des informations, telles que le port en lourd des navires (c’est-à-dire leur capacité maximale d’emport en tonnage), leur puissance ou leur vitesse moyenne, peuvent y être aisément collectées via des requêtes d’export automatique.
- De l’Office statistique des Communautés européennes (EUROSTAT) : conformément à la Directive 1995/64 CE relative au relevé statistique des transports de marchandises et de passagers par mer, la France dispose via EUROSTAT de fichiers d’information dont l’un dit « EURANAGREG » [444] permet de recenser par port le nombre de touchés effectué par navire sur une période donnée.
- Des Grands Ports Maritimes métropolitains et d’outre-mer (GPM) : les relevés statistiques de ces différents ports sont disponibles pour la plupart en ligne et permettent de collecter sur une période donnée des informations précises quant aux transits de marchandises et de passagers dans chacun d’entre eux.
- Du Ministère en charge de l’environnement : l’étude dédiée à l’efficacité énergétique du transport maritime réalisée en 2008/09 propose une approche détaillée présentant des facteurs de consommation spécifiques à chaque type de navire en fonction de son port en lourd tout au long de son exploitation [443]. Des jeux d’indicateurs de consommation d’énergie sont adossés à chacun des profils identifiés ;

- Du Comité Professionnel du Pétrole (CPDP) : dans son rapport annuel [14], cette structure propose les bilans des marchés des soutes maritimes françaises et internationales qu'il détaille par port.

L'approche retenue pour quantifier les ventes associées au trafic domestique se base sur les consommations réelles de carburant dont la quantification est effectuée en bottom-up quasi-intégral (trafics réels, reconstitution statistique de la flotte navigante) :



L'estimation des consommations de produits pétroliers destinés au cabotage et de leurs émissions repose sur la caractérisation fine des activités des lignes régulières entre les ports français qu'il convient d'ajuster en fonction du poids relatif de ces trafics en regard de l'activité totale des ports. Le croisement de cette estimation avec les bilans du marché des soutes maritimes françaises et internationales permet d'en extraire les parts respectives affectées à la navigation domestique.

Cette part de trafic maritime domestique est ramenée en % des ventes des « soutes françaises » (c'est-à-dire pavillon français) lors de l'extrapolation aux autres années et en affectant 100 % des « soutes internationales » (c'est-à-dire pavillons étrangers) au trafic international.

Jusqu'en 2008, la part des « soutes françaises » affectée au trafic domestique était estimée à 4 % quelle que soit l'année, sur la base d'une étude réalisée en mer Méditerranée en 1993 relative à l'année 1990 [133]. Les travaux menés sur une zone étendue à l'ensemble des côtes françaises pour l'année 2005 renvoient par cette approche un équivalent de 6,2 % des soutes françaises attribuées au trafic domestique en 2005.

Voie navigable & plaisance

Deux sous-secteurs se distinguent dans ce chapitre : les bateaux de plaisance (bateaux équipés de moteurs auxiliaires, bateaux à moteurs pour l'usage professionnel, bateaux de plaisance maritimes et fluviaux) et les bateaux dédiés au transport de marchandises de la navigation intérieure (trafic fluvial). Les bateaux de pêche ne sont pas inclus ici, mais dans le secteur pêche (cf. OMINEA_1A4c_fishing).

L'estimation des consommations et les facteurs d'émission utilisés étant différents, ces deux activités sont considérées séparément :

- **Les consommations de carburant des bateaux de plaisance.** Les consommations sont estimées à partir des données de la CCTN [31] 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 la CCTN [31] (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 » de la CCTN.
 - Essence : Les consommations d'essence dues aux trafics de plaisance sont calculées en déduisant du total donné par la CCTN [31] (ligne divers), les consommations d'essence attribuées aux engins des secteurs résidentiel/tertiaire et agriculture/sylviculture. La consommation d'huile 2 temps mélangée et brûlée 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 de la CCTN [670] et du bilan annuel des transports [1141]. Elles sont fournies en tonnes x kilomètres attribuées d'une part au transport domestique et d'autre part au transport international. Les consommations sont ainsi calculées par la multiplication de ces données d'activité par l'intensité énergétique. Cette dernière donnée est exprimée en tonne de carburant consommé par tonnes x kilomètres de marchandise transportée. Ceci est obtenu en faisant évoluer les ratios entre les consommations de carburant en tonnes fournies jusqu'à l'année 1998 par le CPDP [14] et les données de trafic de la CCTN [670]. Les engins mis en œuvre sont supposés utiliser uniquement comme carburant :
 - Fioul domestique (FOD) : Le FOD est utilisé jusqu'en septembre 2011 (l'hypothèse prise en compte est que deux tiers de la consommation totale en 2011 correspond 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 47 : Emissions de gaz à effet de serre du transport maritime domestique (périmètre Kyoto)

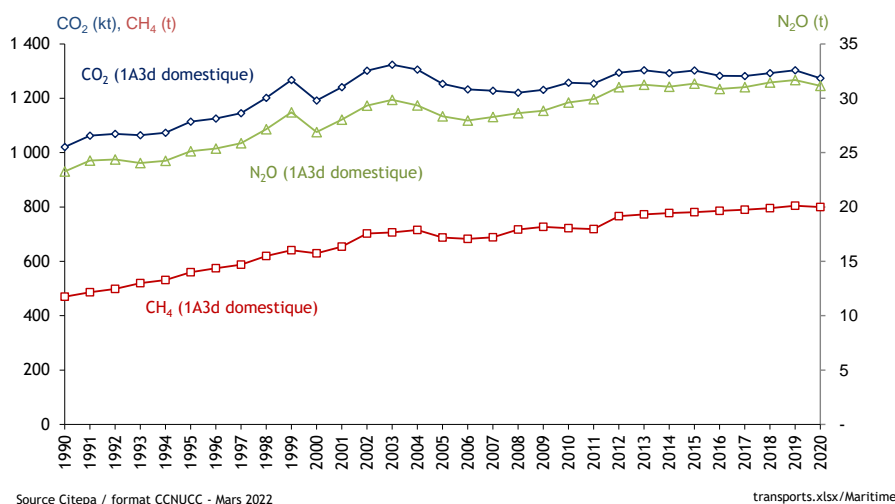
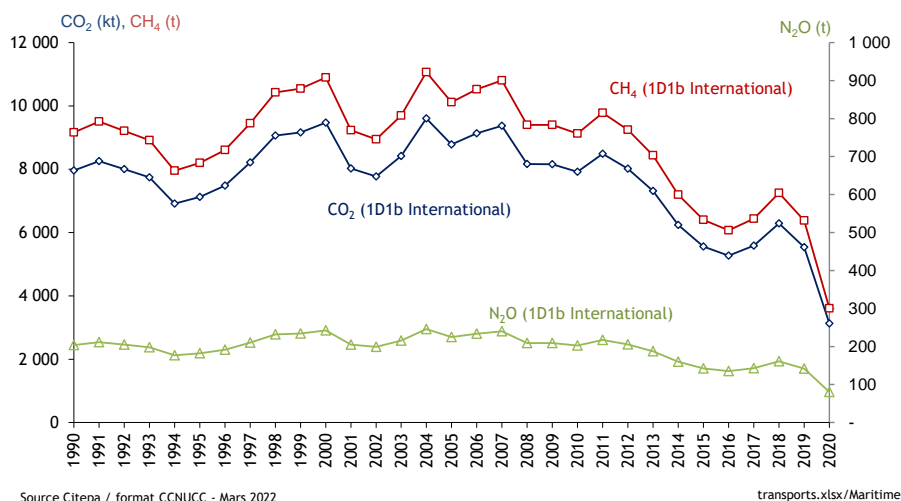


Figure 48 : Emissions de gaz à effet de serre du transport maritime international (hors total)



Les consommations du trafic maritime domestique ont augmenté notablement depuis 1990 à cause de l'augmentation de la consommation d'essence dans les bateaux de plaisance, alors que pour le trafic international, les fluctuations sont dues au 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.

Figure 49 : Consommations d'énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime domestique et international

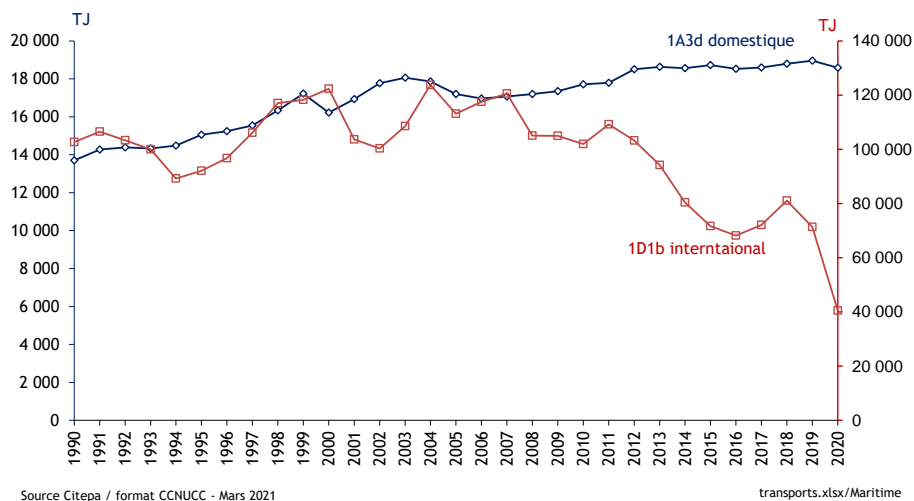


Figure 50 : Consommations des différentes énergies (y compris agro-carburants) en France métropolitaine et en Outre-mer du transport maritime domestique (1.A.3.d.)

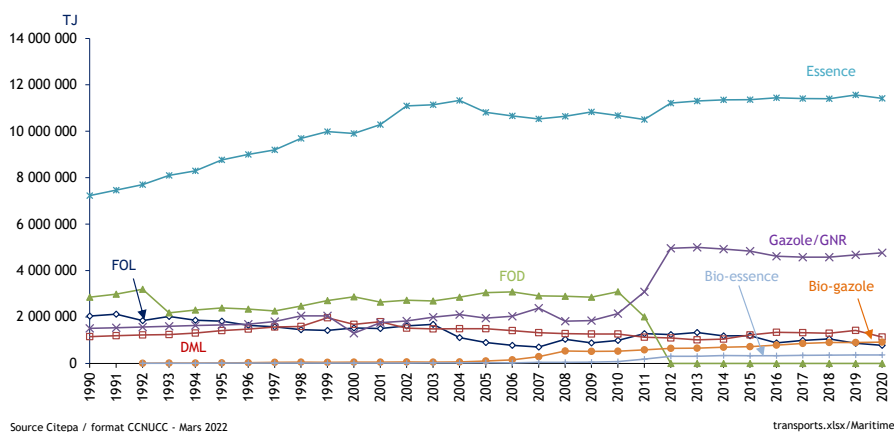
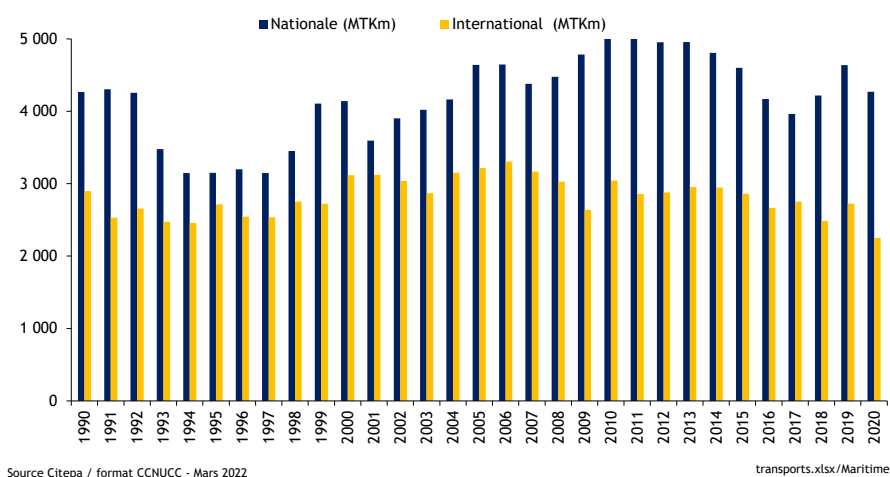


Figure 51 : Répartition des tonnesxkilomètres du transport fluvial de marchandises entre la partie domestique et internationale



☞ Les activités militaires sont exclues (traitées en 1.A.5.) et la pêche est traitée dans le CRF 1.A.4.c.

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

En 2020, cette source n'est pas une catégorie clé, ni en niveau ni en tendance.

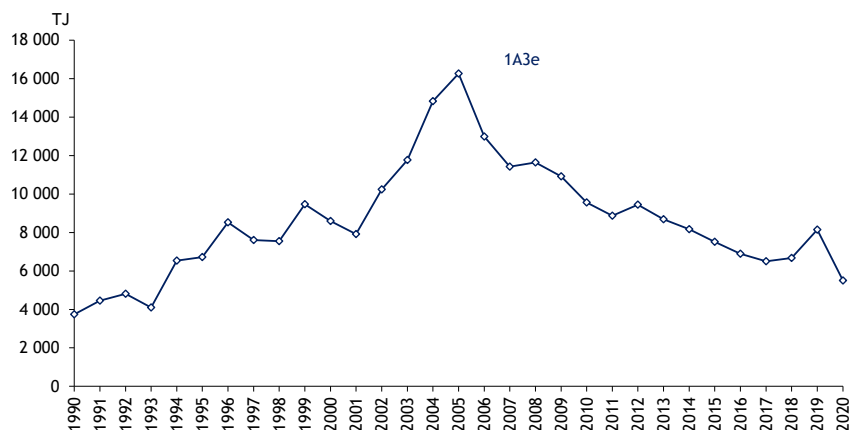
Stations de compression du réseau de transport et de distribution du gaz (1.A.3.e.i)

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.

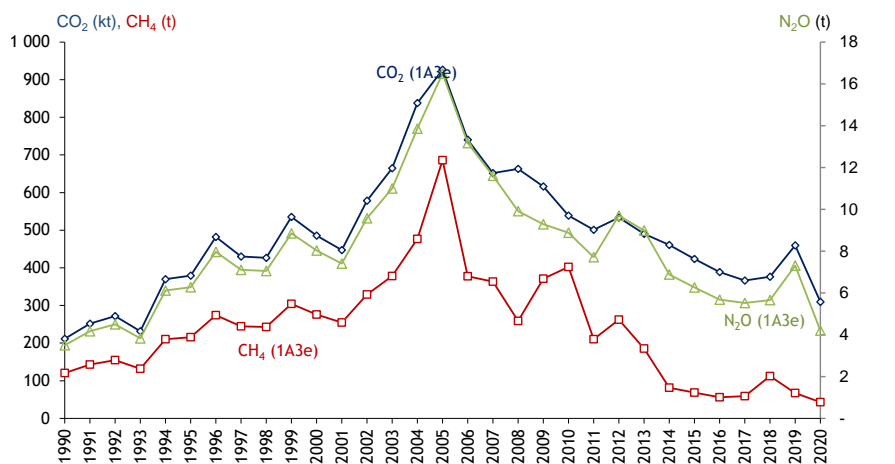
Figure 52 : Consommations d'énergies (gaz naturel) en France métropolitaine et en Outre-mer



Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2021

transports.xlsx/Stat. Comp.

Figure 53 : Emissions de gaz à effet de serre émises par les stations de compression (périmètre Kyoto)



Source Citepa / format CCNUCC - Mars 2021

transports.xlsx/Stat. Comp.

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

En 2020, 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.).

3.2.6.2 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/omine/>

3.2.6.2.1 Transport aérien (1.A.3.a.)

La méthode appliquée est de rang GIEC 3a.

L'activité relative à la combustion est donc déterminée pour les divers éléments fins (par type de couple avion x moteur, phase, liaison, etc.). Face au volume important de données (le seul fichier de trafic des vols commerciaux par liaison type comporte plus d'un million d'enregistrements par année), et aux divers paramètres en relation, le traitement des données est réalisé au moyen d'une application informatique développée conjointement avec la DGAC, qui constitue un outil commun pour les inventaires d'émissions nationaux et divers reportages de la DGAC.

Les émissions sont déterminées chaque année aussi bien pour les vols commerciaux et non commerciaux de manière à renseigner les différents sous-ensembles requis par le rapportage des inventaires. Des résultats individualisés par aéroport peuvent également être déduits pour des applications locales. De manière analogue, un traitement approprié permet de déterminer au sein du trafic international, la fraction correspondant aux liaisons intra UE.

Les émissions non liées à la combustion (abrasion des pneus, des freins, de la piste) sont déterminées en fonction du nombre de cycles LTO au moyen de facteurs d'émission.

Emissions de CO₂

Le facteur d'émission retenu est de 71,8 kg CO₂/GJ (cf. partie générale combustion), pour le kérosène [1142] et 70,5 kg CO₂/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.).

Emissions de CH₄

Selon les hypothèses des lignes directrices du GIEC [903], il est supposé que les émissions de CH₄ n'aient lieu que pendant les phases LTO et sont estimées à 10 % des émissions des COV totaux.

Emissions de N₂O

Un facteur d'émission de N₂O 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 54 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du secteur aérien

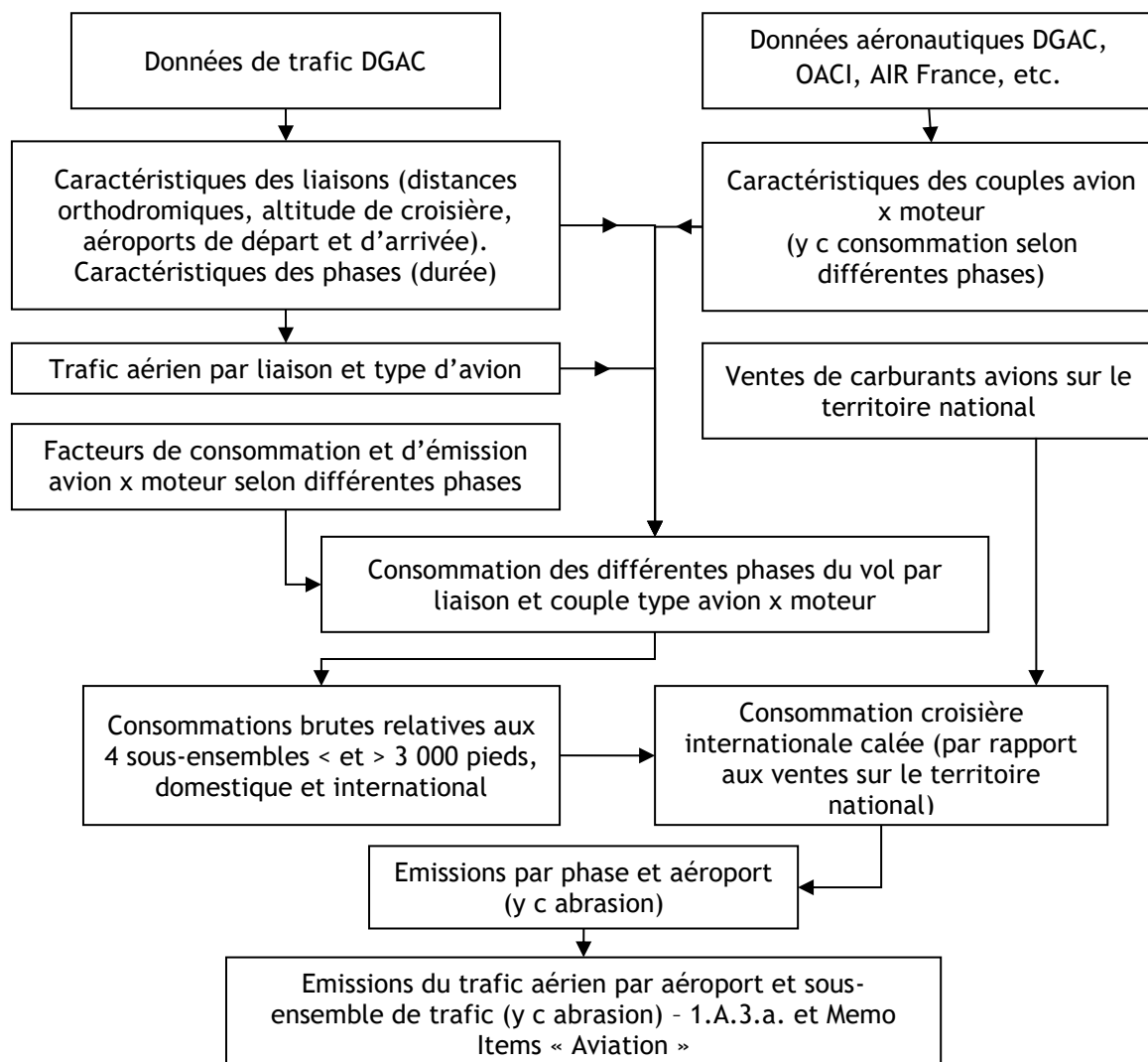


Figure 55 : Evolutions des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre du transport aérien domestique (périmètre Kyoto)

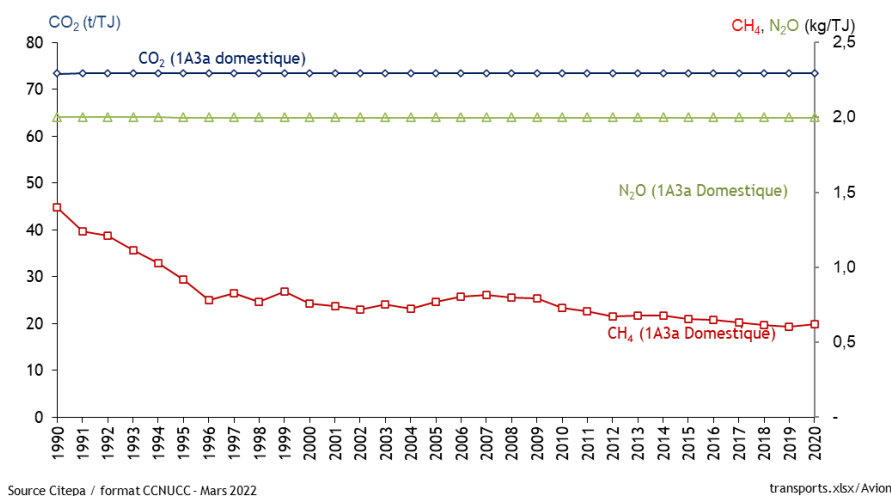
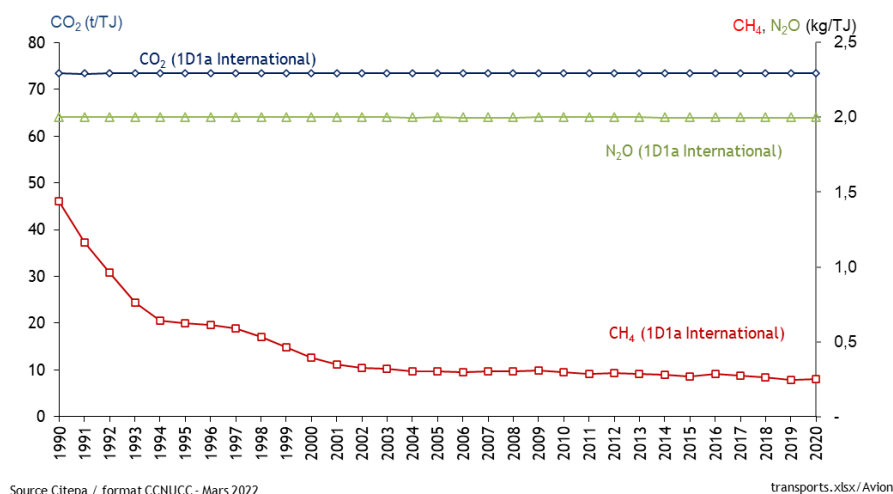


Figure 56 : Evolutions des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre du transport aérien international (hors total)



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

La méthode appliquée est :

CO₂ :

Méthode de rang 3 (modèle d'émissions COPERT), avec des facteurs d'émission de CO₂ nationaux mesurés en 2017 pour le gazole et l'essence. Un facteur d'émission spécifique national est utilisé pour le CO₂ du GNV. Pour le GPLc, il s'agit du facteur d'émission par défaut de COPERT.

CH₄, N₂O :

Méthode de rang 3 (modèle d'émissions COPERT), avec des facteurs d'émission prenant en compte les conditions de trafic national.

Introduction

D'ordinaire, les instances internationales classent dans des catégories différentes les émissions liées à l'utilisation de l'énergie et les émissions liées aux autres causes. 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 fluides frigorigènes rapportés dans la catégorie 2.F.1.,
- des émissions de CO₂ liées à l'utilisation de l'urée dans les systèmes de catalyse déNOx SCR (Selective Catalyst Reduction), rapporté dans la catégorie CRF 2.D.3.4. « autres usages non énergétiques de produits »,
- des émissions de CO₂ liées à la combustion des huiles 4 temps (usage non énergétique), rapportées dans la catégorie CRF 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.,
- 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 par type de voie / comportement routier (autoroute, route, urbain),
 - Vitesse moyenne,
 - Pente de la route,
 - Taux de chargement des véhicules lourds,
 - Distance annuelle parcourue,
 - Longueur moyenne du trajet,
- A divers autres :
 - Température ambiante,
 - Humidité relative,
 - Bilan des ventes de carburants y compris la part d'agro-carburants.

L'estimation des émissions des véhicules routiers liées à l'abrasion et aux fluides frigorigènes fait appel aux paramètres suivants :

- Les émissions de particules, de métaux lourds et de HAP provenant de l'usure de divers organes du véhicule (frein et pneumatiques), d'une part, et provenant de l'érosion du revêtement routier, d'autre part, sont basées sur les parcs dynamiques (i.e. trafic) issus du modèle COPERT [1134], des vitesses par réseau, du taux de chargement et du nombre d'essieux des véhicules lourds et d'une étude du WBCSD [499].
- Les émissions de HFC utilisées comme fluide frigorigène pour la climatisation des véhicules sont déterminées à partir des travaux réalisés par l'Ecole des Mines de Paris [61] et de données complémentaires du Citepa pour les années 2017 et 2018 considérant les quantités de fluide mises en jeu à partir des caractéristiques des équipements, des données de parc et d'une hypothèse de renouvellement du fluide tous les trois ans (cf. catégorie CRF 2.F.).

Les modèles de calculs pour les émissions à l'échappement/évaporation

Deux modèles sont couplés pour déterminer les émissions : le modèle OPALE pour le parc statique (nombre) des véhicules et le modèle COPERT pour les émissions.

1/ Le modèle OPALE (Ordonnancement du Parc Automobile en Liaison avec les Emissions)

Il a été développé par le Citepa pour établir un parc statique détaillé des véhicules immatriculés en France à partir des données statistiques disponibles [54, 55, 56, 57, 58, 60, 311, 387, 1141] qui soit compatible avec le modèle COPERT (COmputer Programme to Calculate Emissions from Road Traffic) [1134].

- Calcul du parc statique pour les VP

Pour la période 2012-2020, le parc global de référence retenu pour les VP, issu de l'appariement du fichier des immatriculations et du fichier des contrôles techniques (qui a lieu tous les deux ans à partir de la quatrième année), est utilisé [1156].

Pour la période 1960-2011, le parc global de référence retenu pour les VP est celui établi par le CCFA [54] qui était, de l'avis de nombreux experts, est le plus représentatif avant exploitation des données du contrôle technique tenant bien en compte les véhicules en fin de vie retirés du parc.

La série administrative 2012-2020, prenant en compte l'existence du véhicule via le contrôle technique, est considérée comme représentative de la réalité sur la période depuis 2012. Afin de rendre la série cohérente, les données du CCFA (1990-2011) sont ajustées sur les données administratives.

La structure plus fine nécessaire pour le calcul des émissions est établie à partir des immatriculations de véhicules de particuliers neufs par cylindrée [55, 56], introduites dans une base de données au Citepa depuis 1960.

Les taux de survie annuels déterminés à partir des deux jeux de données précédents (parc par âge et immatriculations) sont de facto appliqués uniformément à cette structure fine de véhicules.

Pour les VP électrique ou roulant au GPL ou au GNV, la structure fine est obtenue en appliquant la répartition fine des VP essences, car en général ces véhicules ont une double motorisation dont la motorisation essence.

➤ Calcul du parc statique pour les VUL

Pour la période 2012-2020, le parc global de référence retenu pour les VUL, issu de l'appariement du fichier des immatriculations et du fichier des contrôles techniques (qui a lieu tous les deux ans à partir de la quatrième année), est utilisé [1156].

Pour la période 1960-2011, le parc global de référence est celui établi par le CCFA [54].

La série administrative 2012-2020, prenant en compte l'existence du véhicule via le contrôle technique, est considérée comme représentative de la réalité sur la période depuis 2012. Afin de rendre la série cohérente, les données du CCFA (1990-2011) sont ajustées sur les données administratives.

La structure plus fine nécessaire est établie à partir des immatriculations de véhicules utilitaires légers neufs par PTAC [55, 56], introduites dans une base de données au Citepa depuis 1960.

Les taux de survie annuels déterminés à partir des deux jeux de données précédents (parc par âge et immatriculations) sont de facto appliqués uniformément à cette structure fine de véhicules.

Pour les VUL électrique, la structure fine est obtenue en appliquant la répartition fine des VUL essences.

➤ Calcul du parc statique pour les PL (y compris les bus et cars)

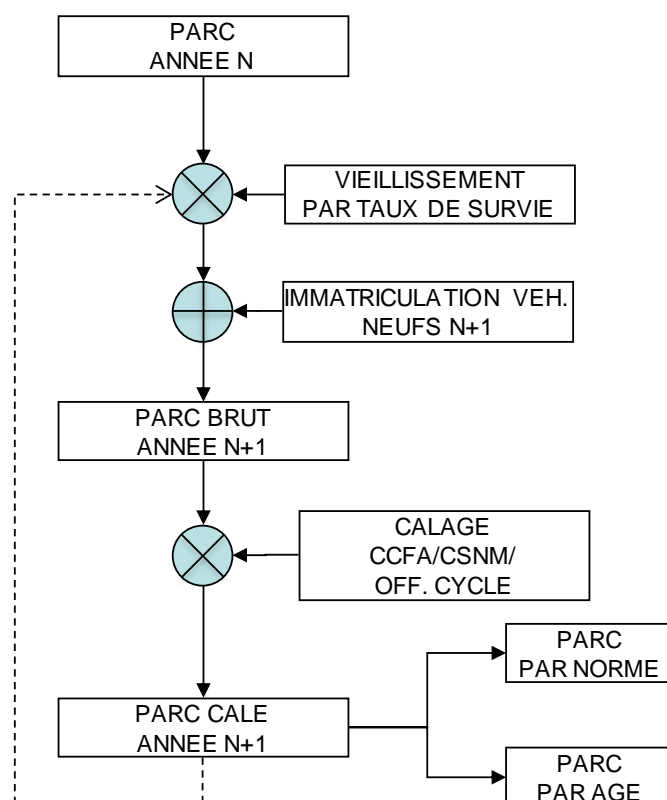
Pour la période 2012-2020, le parc global de référence retenu pour les PL (y compris les bus et cars), issu de l'appariement du fichier des immatriculations et du fichier des contrôles techniques (qui a lieu tous les ans à partir de la première année pour les PL et tous les 6 mois à partir du 6^{ème} mois pour les bus et cars), est utilisé [1156].

Comme pour les VP et VUL, pour la période 1960-2011, le parc global de référence est celui établi par le CCFA [54] et le calage se fait en appliquant une fonction de pondération en fonction de l'âge.

La structure plus fine nécessaire est établie à partir des immatriculations des poids lourds, des bus et des cars neufs par PTAC [55], introduites dans une base de données au Citepa depuis 1960.

Les taux de survie sont ceux de la littérature [311].

Pour les PL, bus et cars électriques ou les Bus roulant au GNV, la structure fine est obtenue en appliquant la répartition fine des PL essences.



Logigramme du processus d'estimation du parc statique dans le modèle OPALE

➤ Calcul du parc statique pour les 2 roues

Le parc global de référence est celui établi par le CSNM [57] (jusqu'en 2005) et par l'officiel du cycle [387] (depuis 2007). Le calage se fait en appliquant une fonction de pondération en fonction de l'âge.

La structure plus fine nécessaire est établie à partir des immatriculations des 2 roues neufs par cylindrée [55], introduites dans une base de données au Citepa depuis 1960. Pour les 2 roues dont la cylindrée est inférieure à 50 cm³, 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].

Pour les 2 roues électriques, la structure fine est obtenue en appliquant la répartition fine des 2 roues essences.

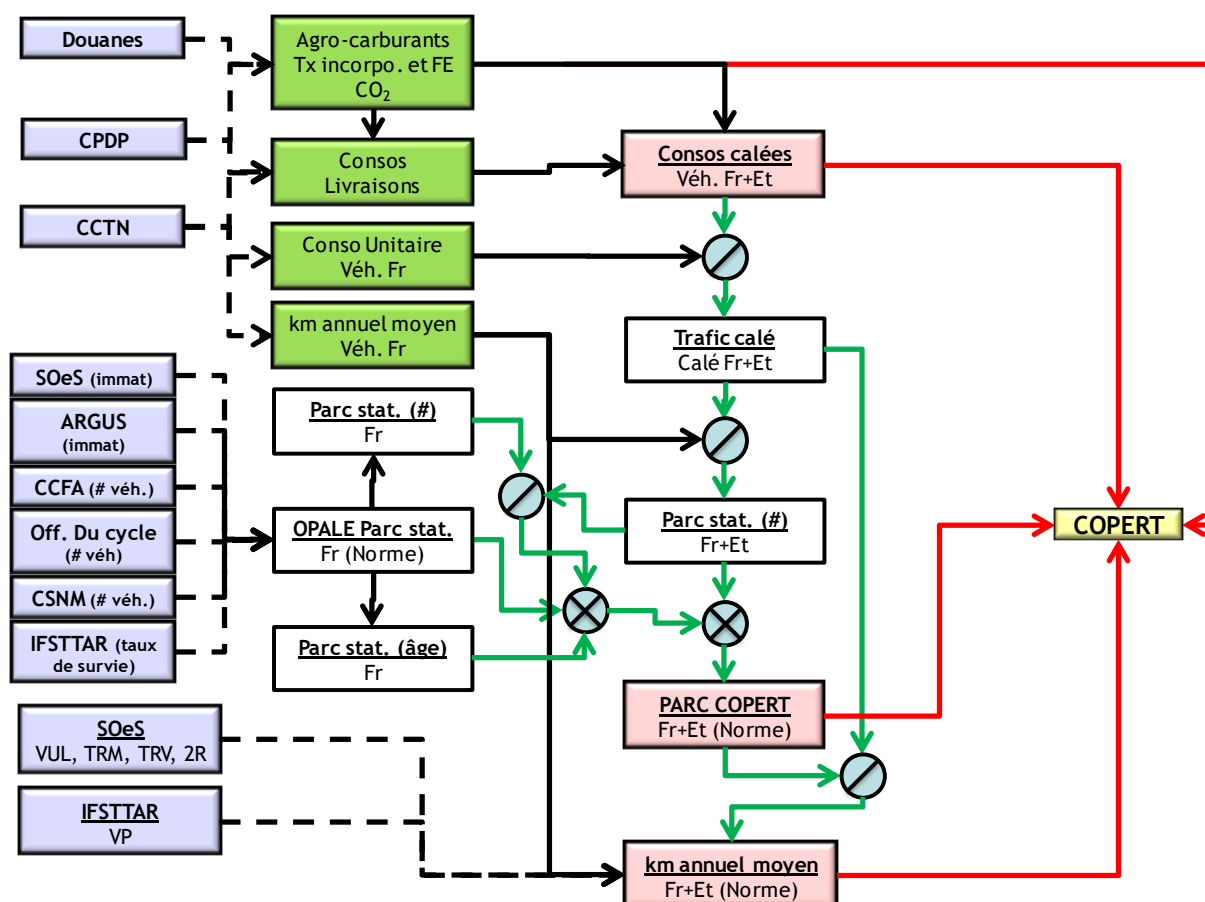
Quel que soit le type de véhicule (VP, VUL, PL, Bus, Car ou 2 roues), hypothèse est faite que 30 % des immatriculations dans l'année qui précède la mise en place d'une norme sont conformes à ladite norme [547].

Le parc détaillé (type de véhicule, type de motorisation, cylindrée, rattachement aux normes d'émissions) est alors disponible.

De par son principe de calcul, le modèle OPALE estime donc un parc statique au 31 décembre de chaque année et pour chaque type de véhicules par norme.

Le parc par norme ainsi calculé est le parc des véhicules immatriculés en France. Or les ventes de carburants en France concernent principalement des véhicules français mais aussi des véhicules étrangers.

Il faut donc estimer les parcs statiques et roulants des véhicules français et étrangers roulant sur prise carburant en France.



Logigramme du processus d'estimation des données nécessaires au calcul des émissions dans le modèle COPERT.

Les consommations de carburants, calées sur les ventes en France, par type de véhicules/motorisations [$Conso_{calée,Fr+Et}(type\ veh, motorisation)$] sont estimées à partir des consommations sur le territoire par type de véhicules (Français et étrangers) et par motorisation [$Conso_{territoire,Fr+Et}(type\ veh, motorisation)$] et du solde aux frontières (solde) issues de la CCTN [60, 1141].

$$Conso_{calée,Fr+Et}(type\ veh, motorisation) = \frac{Conso_{territoire,Fr+Et}(type\ veh, motorisation) + \sum_i Conso_{territoire,Fr+Et}(i, motorisation)}{\sum_i Conso_{territoire,Fr+Et}(i, motorisation)}$$

i=2 roues, VP, VUL, PL, Bus et cars

Le trafic par type de véhicules et par motorisation calé sur les ventes de carburants en France [$Trafic_{calée,Fr+Et}(type\ veh, motorisation)$] est obtenu en divisant les consommations obtenues précédemment par la consommation unitaire [60, 1141] par type de véhicules (français) et par motorisations [$Conso_{Unitaire_{Fr}}(type\ veh, motorisation)$].

$$Trafic_{calée,Fr+Et}(type\ veh, motorisation) = \frac{Conso_{calée,Fr+Et}(type\ veh, motorisation)}{Conso_{Unitaire_{Fr}}(type\ veh, motorisation)}$$

Ce trafic, divisé par les kilométrages annuels moyens [60, 1141] par type de véhicules (français) et par motorisation [$km_{Fr}(type\ veh, motorisation)$], donne le nombre de véhicule (VP, VUL, PL, Bus et cars et les deux roues) circulant sur prise carburant française [$Nb\ véhicule_{calée,Fr+Et}(type\ veh, motorisation)$].

$$Nb\ véhicule_{calée,Fr+Et}(type\ veh, motorisation) = \frac{Trafic_{calée,Fr+Et}(type\ veh, motorisation)}{km_{Fr}(type\ veh, motorisation)}$$

L'hypothèse que les véhicules étrangers ayant fait une prise de carburant en France sont plus jeunes que le parc français est appliquée de la façon suivante :

$$Nb\text{véhicule}_{calé,Fr+Et}(typeveh,motorisation,\hat{age}) \\ = Nb\text{véhicule}_{OPALE}(typeveh,motorisation,\hat{age}) \times \alpha_{typeveh,motorisation}^{(\hat{age}_{max}-\hat{age})}$$

avec \hat{age}_{max} = longévité maximum des véhicules (30 ans pour VP,VUL, bus et cars, 24 ans pour les PL, 15 ans pour les 2 roues).

Et

$$\sum_{\hat{age}} Nb\text{véhicule}_{OPALE}(typepvéh,motorisation,\hat{age}) \times \alpha_{typepvéh,motorisation}^{(\hat{age}_{max}-\hat{age})} \\ = Nb\text{véhicule}_{calé,Fr+Et}(typepvéh,motorisation) \\ = \sum_{\hat{age}} Nb\text{véhicule}_{calé,Fr+Et}(typepvéh,motorisation,\hat{age})$$

Cette hypothèse ne s'applique qu'au VP essence et diesel, VUL essence et Diesel, PL diesel et cars diesel.

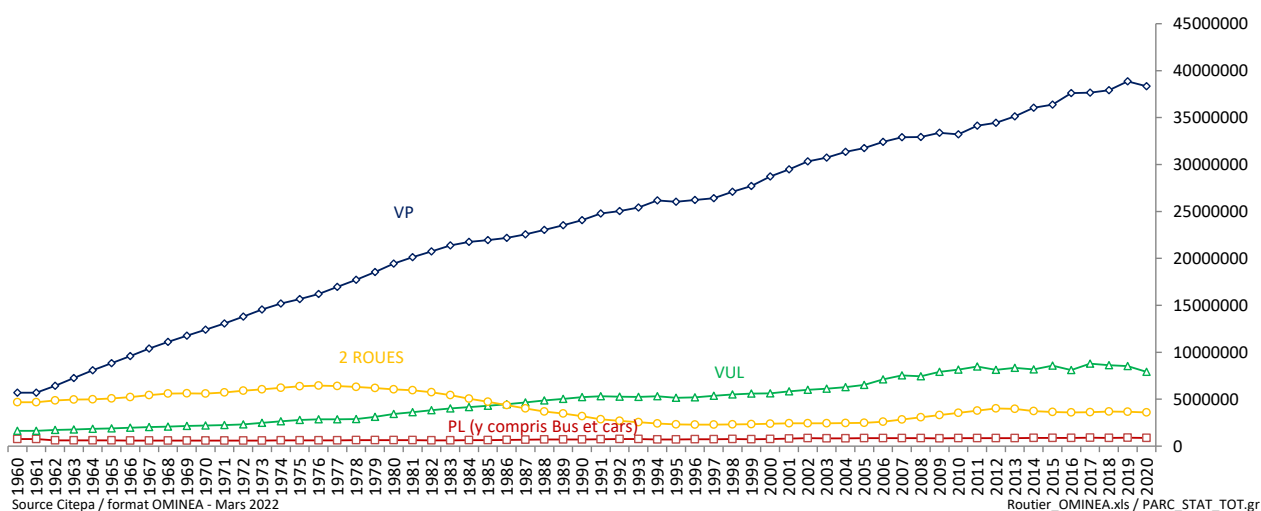
Nous prenons l'hypothèse que les VP GPL, électriques, GNV, les bus Diesel et GNV ainsi que les 2 roues sont des véhicules exclusivement français.

La répartition par norme est obtenue en considérant la norme à la date de première immatriculation correspondante.

Le calcul des émissions est réalisé avec des parcs à mi-année calculés par moyenne arithmétique de deux années consécutives des parcs estimés ci-dessus.

$$Parc_{mi\text{ année}}(N) = \{ Parc_{fin\text{ année}}(N-1) + Parc_{fin\text{ année}}(N) \} / 2$$

Figure 57 : Parc statique (Nombre) des véhicules routiers en Métropole



2/ Le modèle COPERT [1134]

Développé au travers de projets européens financés par l'AEE et la Commission européenne, ce modèle est utilisé pour estimer les émissions à l'échappement et par évaporation. Ses données d'entrée sont les paramètres mentionnés précédemment.

Le modèle calcule dans un premier temps la consommation globale de chaque carburant (essence + bio-essence, gazole + bio-gazole, GPLc, GNV) sur la base des divers paramètres renseignés (parc, trafic, pourcentage d'utilisation des différents réseaux et les vitesses associées, etc.). Le rapprochement de ces consommations calculées avec les ventes de carburants conduit à un processus

itératif d'ajustement de certains paramètres jusqu'à obtention de balances énergétiques satisfaisantes. Les valeurs des paramètres sont fixées à partir de diverses études [58, 60, 311]. Des règles logiques sont respectées comme la décroissance de la distance annuelle parcourue en fonction de l'âge du véhicule [547, 548, 549, 550, 551], la hiérarchie des vitesses moyennes sur les différents réseaux [546], etc.

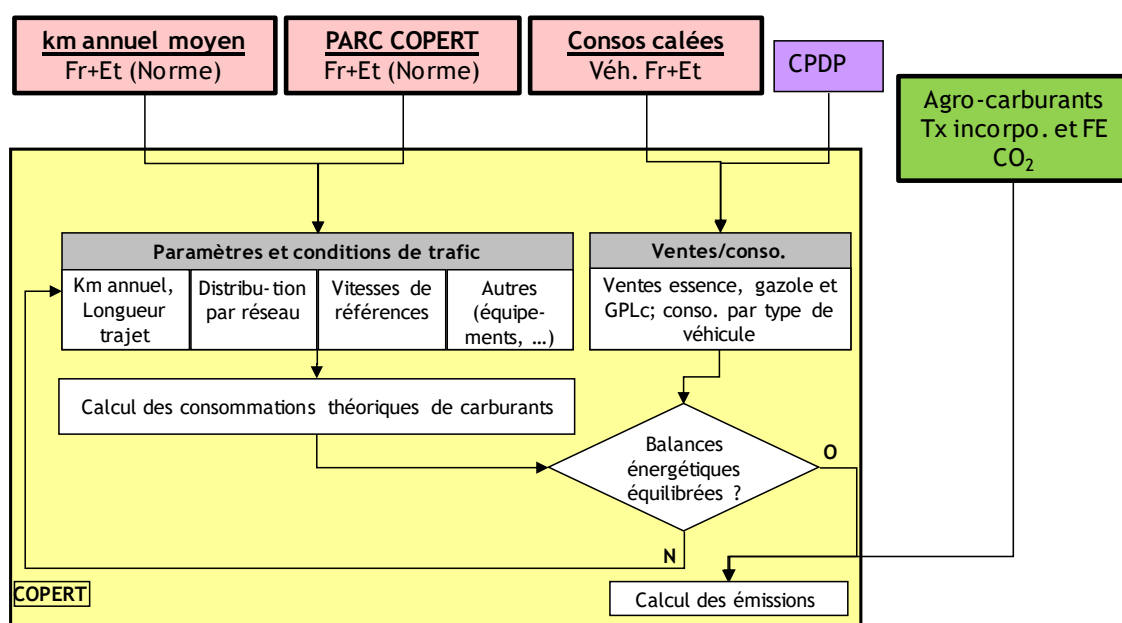
Toutes les valeurs des paramètres et conditions de trafic sont revues et si nécessaire ajustées chaque année. L'ajustement est fait en conséquence sur les distances annuelles parcourues pour tous les véhicules pour toute la série temporelle.

Les bilans énergétiques

Ils servent dans le modèle COPERT d'éléments de calage et de validation globale, par le biais d'un processus d'ajustement itératif entre le calcul théorique COPERT de la consommation de carburant (dépendant des paramètres de circulation) et la valeur statistique entrée¹² (respectivement pour les différents carburants) (cf. logigramme ci-dessous).

La différenciation entre les livraisons sur le territoire français (ventes CPDP [14] auxquelles sont soustraites les usages non routiers) et les consommations sur le territoire français [60, 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 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 de la CCTN [60, 1141] sont des estimations de consommation sur le territoire français (indépendamment du lieu d'achat du carburant, en France ou à l'étranger). C'est pourquoi, pour les inventaires d'émissions, ces chiffres de consommation de carburant par grand type de véhicules de la CCTN [60, 1141] sont recalés sur les livraisons de carburant du transport routier (déterminées comme les livraisons CPDP de carburant auxquelles les consommations des usages non routiers estimées par la CCTN [60, 1141] sont soustraites).



Logigramme du processus d'estimation des émissions dans le modèle COPERT.

Pour ce qui est des données et conditions de circulation, celles-ci concernent :

¹² 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).

- Les kilomètres parcourus (trafic) : du fait du recalage des consommations CCTN [60, 1141] par rapport aux livraisons pour le routier, et du ratio entre ces consommations et les consommations unitaires de la CCTN [60, 1141], le trafic correspond au trafic des véhicules circulant sur prise carburant française. Ces kilomètres parcourus par grand type de véhicule servent de référence pour l'estimation des kilomètres parcourus par type de véhicule défini dans COPERT.
- Les kilométrages annuels moyens par véhicule : la variation des kilométrages annuels moyens en fonction de l'âge des véhicules est prise en compte, d'après les éléments du rapport de l'IFSTTAR [547] pour les VP, et des enquêtes TRM, TRV, VUL et 2R [548, 549, 550, 551] pour les autres types de véhicules. D'autre part, comme indiqué ci-avant, un bouclage sur les kilomètres parcourus (trafic) CCTN [60, 1141] ajustés est assuré par grand type de véhicule.
- La répartition du trafic sur les 3 modes (urbain, rural, autoroute) : la répartition du trafic sur les 3 modes par type de véhicule est estimée à partir d'éléments relatifs dans le rapport de l'IFSTTAR [547] et avec un recalage sur la répartition par réseau de la CCTN [60, 1141], globale tout véhicule.
- Les vitesses moyennes de référence sur les 3 modes (urbain, rural, autoroute) : La variation des vitesses sur les différents réseaux [545] est prise en compte pour refléter au mieux la réalité des conditions de trafic en France.

A ce stade du processus, le kilométrage et donc le parc roulant (i.e. trafic = véhicules x kilomètres parcourus) sont disponibles ainsi que le bilan énergétique par type de véhicule.

Figure 58 : Kilométrage moyen des véhicules routiers en Métropole

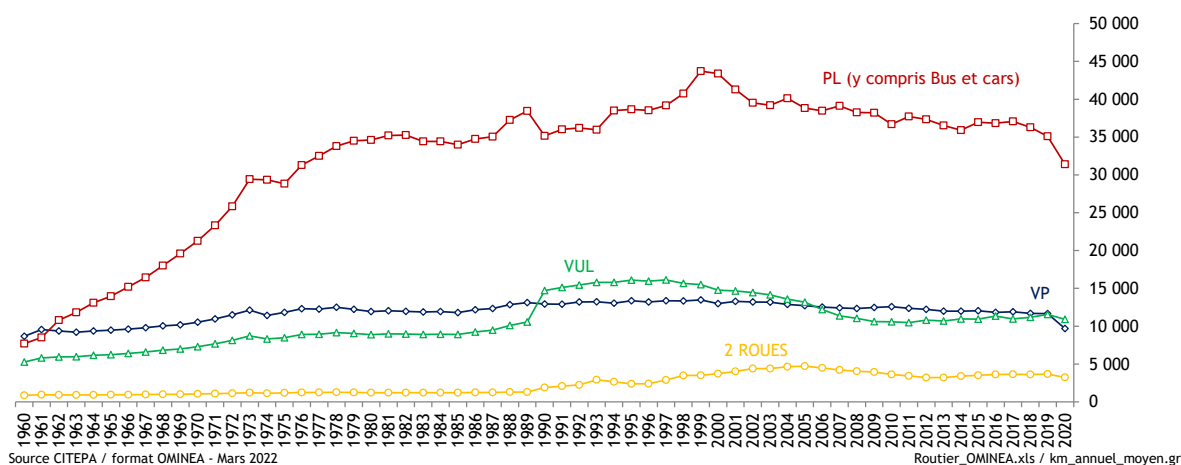
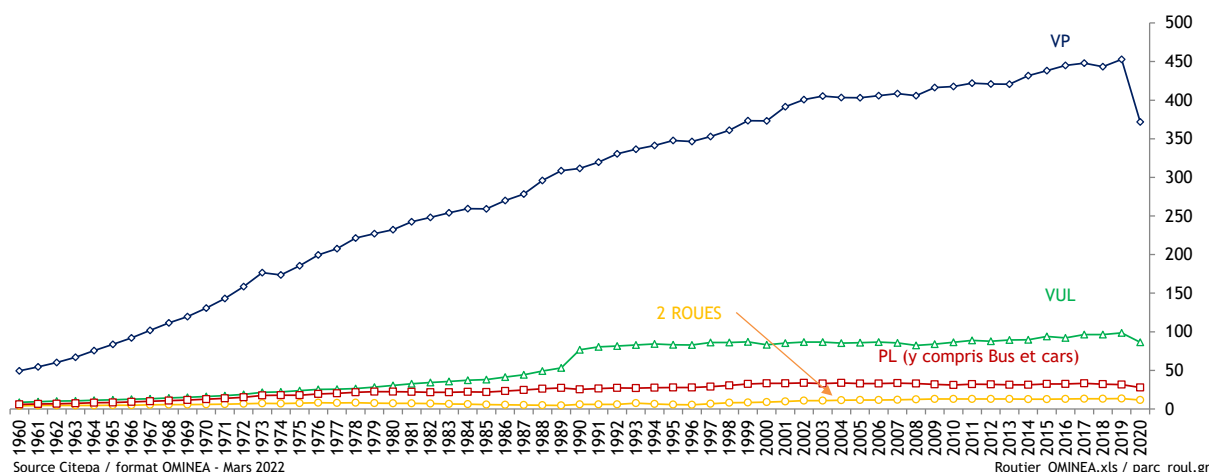


Figure 59 : Parc roulant (Md véhiculesxkilomètre) des véhicules routiers en Métropole



Dans un deuxième temps, le modèle COPERT permet d'estimer les émissions de certains polluants sur la base du jeu de paramètres déterminés. Des tests de sensibilité ont montré que l'incidence de la paramétrisation est relativement limitée du fait que les fourchettes plausibles de valeurs sont assez bien maîtrisées et que pour obtenir une balance énergétique équilibrée, l'incidence de la modification d'un paramètre nécessite généralement la modification d'un ou plusieurs paramètres dont l'effet sera antagoniste.

Les émissions de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) par évaporation, véhicule en fonctionnement, à l'arrêt ou au remplissage du réservoir sont aussi déterminées [1155].

La consommation d'huile servant de lubrifiant dans les moteurs et qui est brûlée avec le carburant est déterminée en utilisant la méthodologie développée par le NERI [453]. La consommation d'huile est fonction du type de véhicule (VP, VUL, PL, 2 roues hors motocyclettes) et de l'âge de celui-ci en considérant que les véhicules neufs consomment entre 0,25 litre / 10 000 km (2 roues) et 2,5 litres / 10 000 km (PL). Pour les motocyclettes et les motos à moteur 2 temps, l'hypothèse que l'huile est mélangée à l'essence à hauteur de 3% en volume est retenue.

L'huile consommée contribue en tant qu'hydrocarbure aux émissions liées à la combustion de manière similaire aux carburants, à l'exception des métaux lourds pour lesquels les compositions différenciées des huiles et des combustibles sont prises spécifiquement en compte.

Les émissions relatives aux huiles des moteurs 2 temps sont rapportés dans le secteur du transport routier (1.A.3.b.), alors que celles relatives aux huiles des moteurs 4 temps sont rapportés dans le secteur (NFR-2.G./CRF-2.D.1.)

Les données de calcul pour les émissions liées à l'utilisation des climatisations

Cf. 2.F.1

Outre-mer

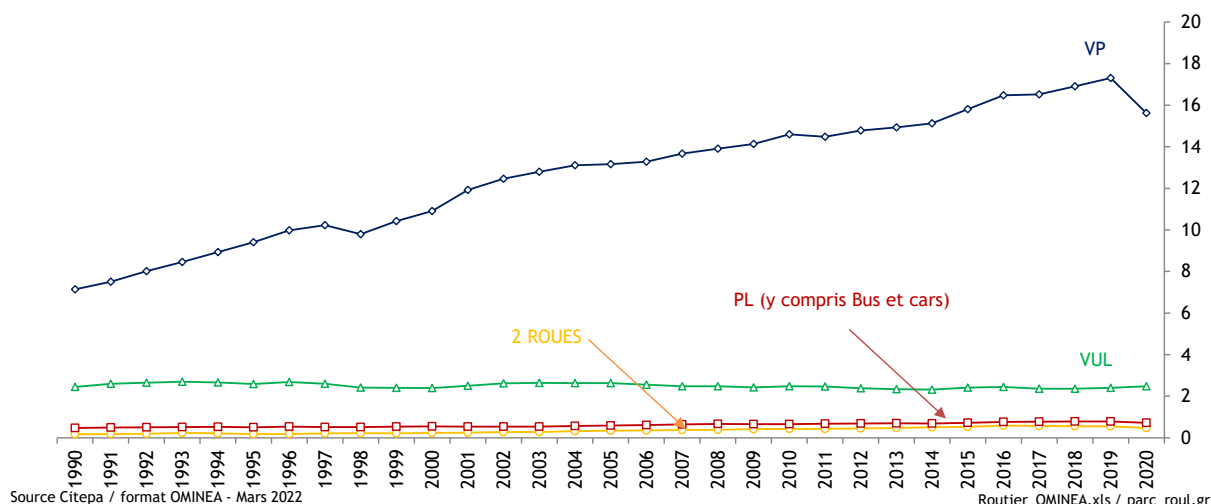
Les données pour le calcul des émissions pour l'Outre-mer y compris les PTOM sont dérivées en partie des données de la métropole pour ce qui est de la structure de parc roulant.

Pour le parc statique, un parc agrégé (VP, VUL, PL, 2 Roues) est d'abord calculé à partir des données de l'INSEE [318, 319, 320, 321, 322] et du SDeS [55] pour ces territoires ainsi que pour la métropole. Les ratios par grand types de véhicules entre les données de la métropole et les données de l'Outre-mer sont appliqués à chaque catégorie de véhicule (norme - cylindrée/poids) du parc de la métropole pour obtenir le parc de l'Outre-mer global (y compris PTOM).

Les consommations de carburants dans ces territoires sont données dans le bilan énergétique réalisé en interne [318, 319, 320, 321, 400, 401, 402 et 403]. Les kilométrages annuels moyens introduits dans le modèle COPERT [1134] sont ceux de la métropole. Des ajustements sont effectués pour obtenir

une balance énergétique équilibrée puis, in fine, le parc roulant et calculer les émissions. Les émissions sont réparties au prorata des consommations de carburants dans chaque territoire.

Figure 60 : Parc roulant (Md véhiculesxkilomètre) des véhicules routiers en Outre-mer (y compris PTOM)

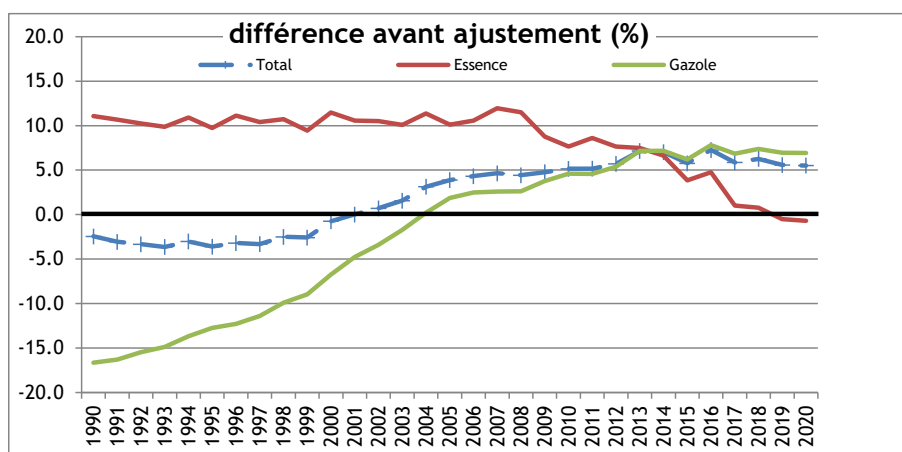


Remarques :

- un minimum de degrés de liberté est nécessaire pour permettre les ajustements. Ceux-ci sont effectués différemment selon les types de véhicules de manière à conserver un maximum de cohérence avec les données de la CCTN.
- les agro-carburants sont pris en compte. Pour les inventaires de gaz à effet de serre requis pour la CCNUCC, la contribution des agro-carburants dans les émissions de CO₂ est nulle car ces derniers sont produits à partir de biomasse à rotation rapide (cycle annuel). Les émissions de CO₂ issues des agro-carburants sont rapportées sur la ligne "biomasse" des tables CRF, mais ne sont pas cumulées dans le total CO₂ du transport routier.

La figure suivante présente les différences de consommations avant ajustement par carburant. Les différences du calcul des consommations par le modèle COPERT du gazole et de l'essence sont inférieures à 20% (en valeurs absolues). Le total est inférieur à 8 %. Les écarts sur les données de consommations de GNV et de GPLc (>20%), sont liées à la difficulté de connaître les kilométrages annuels moyens de ces véhicules qui ont la particularité d'être souvent une deuxième motorisation du véhicule.. Le niveau de consommations de ces carburants est faible par rapport aux consommations du gazole et de l'essence, et n'influe donc pas de façon significative sur les émissions du CH₄ et du N₂O.

Figure 61 : Différence relative du calcul par le modèle COPERT vis-à-vis de la statistique des consommations d'essence et de gazole pour le transport routier de 1990 à 2020



Le tableau suivant présente les valeurs des consommations pour l'année 2020 avant et après ajustement. La différence entre les consommations provenant des statistiques, et celles du modèle, est de -3,0 % avant ajustement et devient nulle sur le total après ajustement.

Tableau 53 : Comparaison des consommations de l'année 2020 pour le transport routier issues des statistiques et du modèle COPERT

Consommation Essence kt	consommations statistiques	consommations calculées (COPERT)		différence avant ajustement (%)	différence après ajustement (%)
		avant ajustement	après ajustement		
2 roues	363	291	363	-19.7	0.0
VP Fr + étrangers	6 042	6 218	6 042	2.9	0.0
VUL Fr + étrangers	572	417	571	-26.9	0.0
PL	0	1	1	-26.9	0.0
Total consommation	6 977	6 927	6 977	-0.7	0.0

Consommation Gazole kt	consommations statistiques	consommations calculées (COPERT)		différence (%)	différence (%)
		avant ajustement	après ajustement		
Voiturettes	0	31	29	4.4	0.0
VP Fr + étrangers	12 921	13 463	12 892	56.5	0.0
VUL Fr + étrangers	4 798	7 510	4 798	48.7	0.0
Bus et cars	542	807	542	-17.7	0.0
PL	9 275	7 633	9 275	6.9	0.0
Total consommation	27 536	29 444	27 536	6.9	0.0

Consommation GPL kt	consommations statistiques	consommations calculées (COPERT)		différence (%)	différence (%)
		avant ajustement	après ajustement		
VP GPL	36	42	36	18.7	0.0

Consommation GNV kt	consommations statistiques	consommations calculées (COPERT)		différence (%)	différence (%)
		avant ajustement	après ajustement		
VP/PL GNV	163	214	163	31.2	0.0
TOTAL	34 711	36 627	34 711	5.5	0.0

ajustement_copert.xls

Les émissions sont calculées, sauf dans quelques cas, au moyen des facteurs d'émission unitaires proposées par le modèle COPERT. Ces dernières sont basées sur un nombre important de mesures réalisées par divers laboratoires européens dont l'Université Gustave Eiffel en France. A ces émissions sont ajoutées les émissions dues aux huiles des moteurs deux temps d'une part (rapportées dans le 1.A.3.b.), des moteurs 4 temps d'autre part (rapportées en 2.D.1.) et enfin de l'usage d'urée (rapportées en 2.D.3.).

Emissions de CO₂

Les émissions de CO₂ sont issues de la combustion des carburants (essence, gazole, gaz naturel véhicule et GPLc) et des agro-carburants (bio-essence et bio-gazole). L'incorporation d'agro-carburant n'a lieu qu'en métropole.

L'estimation des émissions de CO₂ issues de la combustion des agro-carburants est réalisée en intégrant au modèle méthodologique COPERT [1134] les pourcentages massiques d'agro-carburants dans les produits pétroliers ainsi que leurs facteurs d'émission. Il est ainsi possible de distinguer les émissions de CO₂ issues des produits pétroliers et celles issues des agro-carburants. Ces dernières étant exclues du total des émissions des gaz à effet de serre dans le cadre de la convention sur les changements climatiques.

Les facteurs d'émission du gazole et de l'essence, sont calculés en fonction du ratio hydrogène sur carbone (H/C), mesuré en 2017 sur des carburants vendus en France (mesures additionnelles au cadre de la directive UE sur la qualité des carburant-FQMS, cf. section *OMINEA_1A_fuel emission factor*). La consommation d'huile des moteurs 2 temps est aussi prise en compte. Pour les agro-carburants, le détail des facteurs d'émission de CO₂ est présenté en section 1.A.

Les facteurs d'émission sont fournis dans le tableau ci-dessous.

Les émissions de CO₂ 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 CO₂ liées à l'utilisation d'urée dans les catalyseurs SCR sont rapportées dans la section 2.D.3.4. en considérant que les émissions de CO₂ correspondent à 23,8% de la consommation d'urée.

Il est à noter que la totalité des émissions de CO₂ issues de l'huile est incluse dans l'inventaire national faute d'information sur la part d'huiles moteur d'origine biologique.

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 CH₄

Les facteurs d'émissions de méthane sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134]. Ils sont fonction de divers paramètres comme : le type de véhicule, la norme d'émission, le réseau et la température.

Pour estimer les émissions de CH₄ issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission déduits des émissions de CH₄ des produits pétroliers ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

Emissions de N₂O

Les facteurs d'émission de N₂O sont issus du guidebook EMEP/EEA [1134].

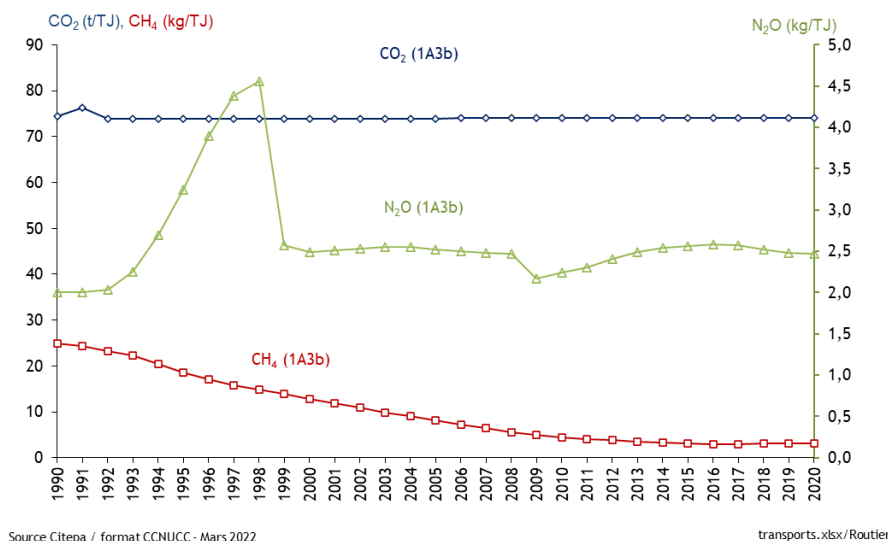
Pour estimer les émissions de N₂O issues de la combustion de l'huile, les facteurs d'émission de N₂O des produits pétroliers ramenés à la consommation de carburant sont appliqués à la consommation d'huile.

Les facteurs d'émission N₂O 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 62 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre Kyoto) du transport routier



3.2.6.2.3 Transport ferroviaire (1.A.3.c.)

La méthode appliquée est de rang GIEC 2.

Introduction

Le parc de matériel en exploitation n'est pas connu avec précision, une méthodologie simplifiée est donc utilisée. Les consommations de combustibles des locomotives et des locotracteurs sont estimées à partir des données du CPDP [14], du bilan RSE de la SNCF [668] et de la CCTN [60].

Les émissions de CO, COVM, NOx et PMs en particulier sont estimées à partir de l'évolution de la répartition du parc théorique par année selon les phases de motorisation des directives appliquées.

Pour les émissions dues à l'usure des matériels, les longueurs des parcours sont déterminées à partir des références [14, 60 et 104].

Émissions de CO₂

Les émissions de CO₂ 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 CH₄

Le facteur d'émission tiré de la section routier du Guidebook EMEP/EEA [1134] (du fait de l'assimilation du moteur des locomotives Diesel au moteur des poids lourds routiers conventionnels, i.e. sans post-traitement) est utilisé. La valeur moyenne pour tous les équipements est de 10,6 g/GJ. Cette hypothèse est validée à la suite d'une consultation auprès des experts français de l'industrie ferroviaire (SNCF, Société nationale des chemins de fer français).

Le facteur d'émission pris en compte est issu d'une pondération (1/3 de chaque réseau) des facteurs d'émissions urbain (175 mg/km), route (80 mg/km) et autoroute (70 mg/km) des poids lourds conventionnels du transport routier (tirés du Guidebook EMEP/EEA, table 3.47 [1134]).

Ce facteur d'émission est ramené en énergie en considérant une consommation unitaire des PL de 240 g/km (tirés du Guidebook EMEP/EEA, table 3.15 [1134]) ainsi que le PCI du combustible.

Émissions de N_2O

Le facteur d'émission dépend du combustible utilisé (cf. Partie générale combustion). Pour le gazole, la valeur spécifique à la France utilisée est de 2,93 g/GJ. L'origine des facteurs d'émission de base est la référence [1134] du fait de l'assimilation du moteur des locomotives Diesel au moteur des poids lourds routiers conventionnels (i.e. sans post-traitement). Cette hypothèse est validée à la suite d'une consultation auprès des experts français de l'industrie ferroviaire (SNCF, Société nationale des chemins de fer français).

Le facteur d'émission pris en compte est issu des facteurs d'émissions urbain, route et autoroute (30 g/km) des poids lourds conventionnels du transport routier (tirés du Guidebook EMEP/EEA, table 3.65 [1134]).

Ce facteur d'émission est ramené en énergie en considérant une consommation unitaire des PL de 240 g/km (tirés du Guidebook EMEP/EEA, table 3.15 [1134]).

Quand on se réfère au guide méthodologique EMEP/EEA 2019 [1140] pour le secteur ferroviaire (1.A.3.c.), la valeur proposée pour l'approche tier 2 est de 24 g/t soit 0,57 g/GJ (en prenant comme source le secteur 1.A.3.b.iii., i.e. les poids lourds conventionnels).

Les valeurs par défaut des lignes directrices GIEC 2006 (comprises entre 14,3 g N_2O /GJ et 85,8 g N_2O /GJ avec une valeur moyenne de 28,6 g N_2O /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 63 : Logigramme du processus d'estimation des émissions.

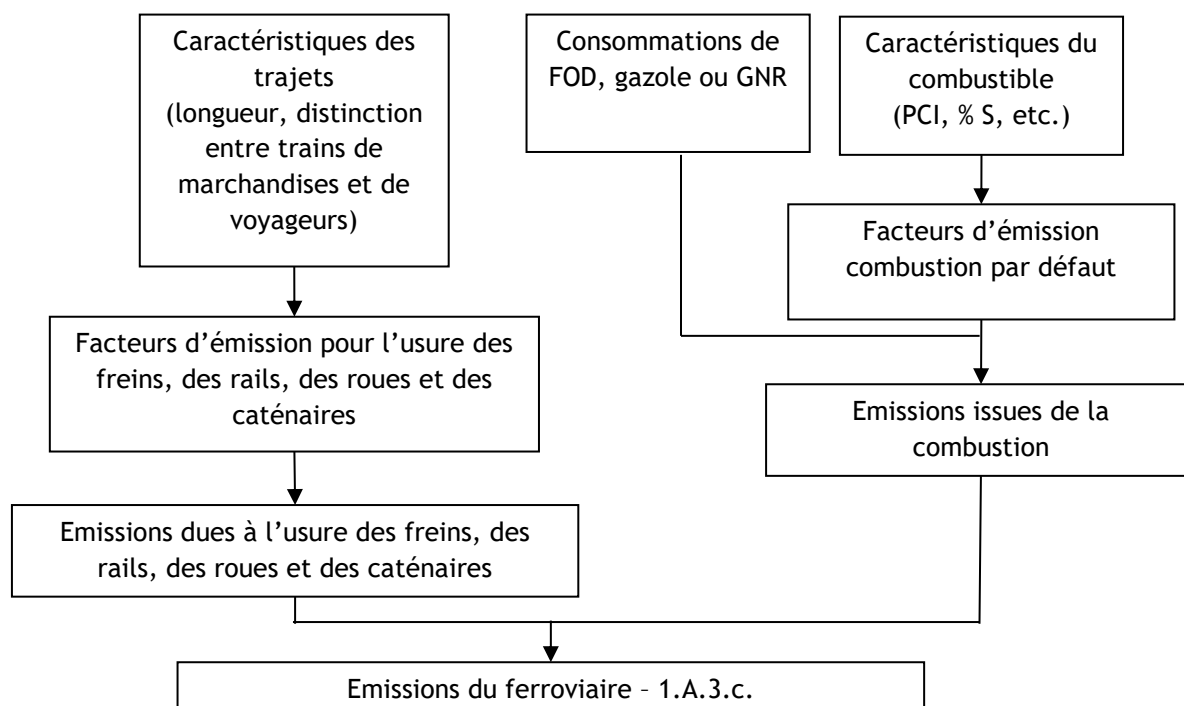
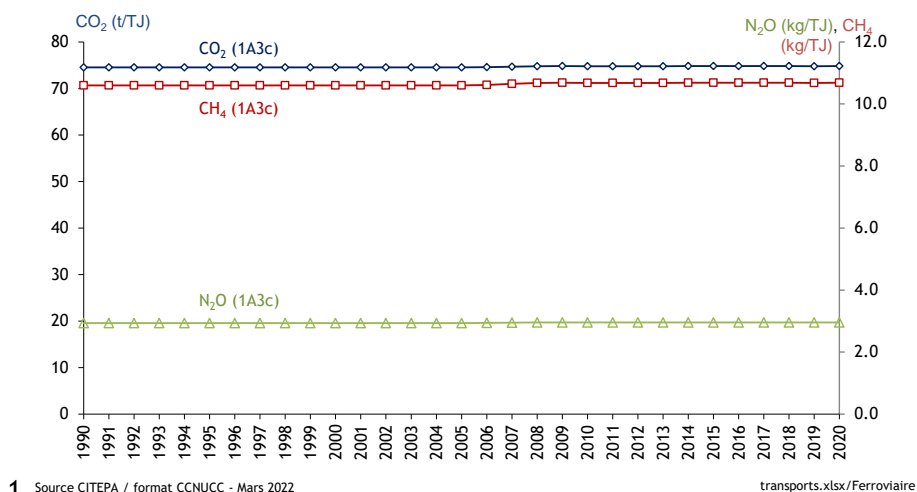


Figure 64 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre Kyoto) du transport ferroviaire

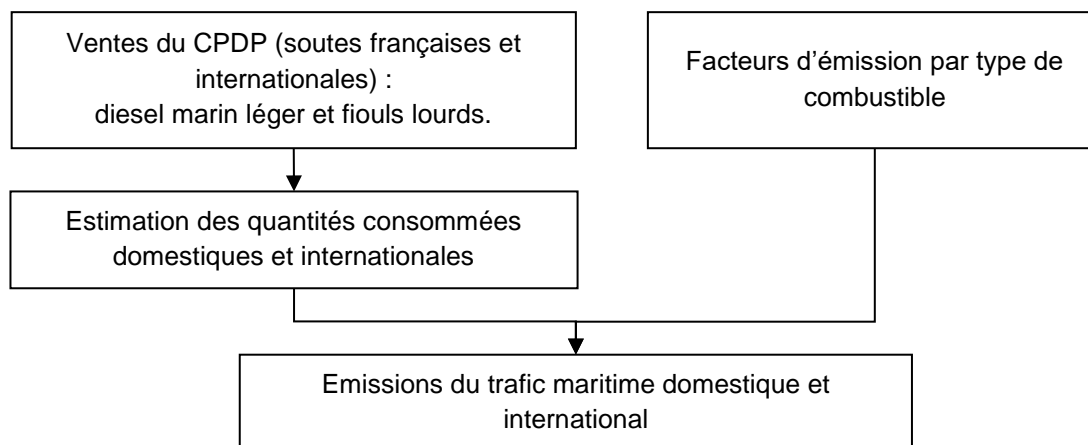


3.2.6.2.4 Transport maritime et voie navigable (1.A.3.d.)

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

Transport maritime

Figure 65 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du transport maritime



Émissions de CO₂

Les facteurs d'émission retenus sont les valeurs spécifiques françaises par défaut.

Émissions de CH₄

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 CH₄/GJ pour le diesel marin léger et de 7,5 g CH₄/GJ pour le fioul lourd.

Émissions de N₂O

Les émissions de N₂O sont estimées sur la base des facteurs d'émission issus des directives GIEC [669], à savoir de 1,9 g N₂O/GJ pour le diesel marin léger et de 2,0 g N₂O/GJ pour le fioul lourd.

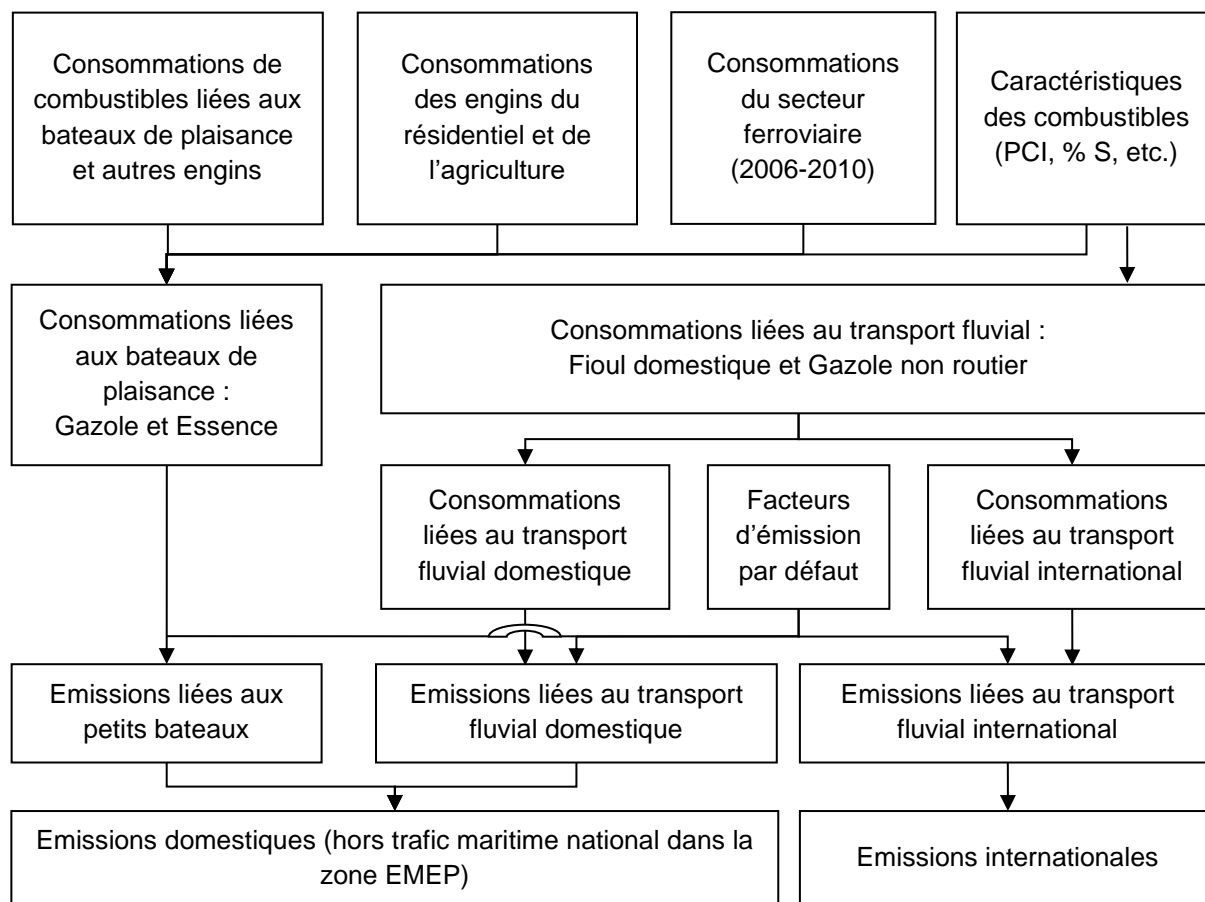
Voie navigable & plaisance

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 de la CCTN [31] 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 la CCTN [31] (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 » de la CCTN.
 - Essence : Les consommations d'essence dues aux trafics de plaisance sont calculées en déduisant du total donné par la CCTN [31] (ligne divers), les consommations d'essence attribuées aux engins des secteurs résidentiel/tertiaire et agriculture/sylviculture. La consommation d'huile 2 temps mélangée et brûlée 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 de la CCTN [670] et du bilan annuel des transports [1141]. Elles sont fournies en tonnes x kilomètres attribuées d'une part au transport domestique et d'autre part au transport international. Les consommations sont calculées par la multiplication de ces données d'activité par l'intensité énergétique. Cette dernière donnée est exprimée en tonne de carburant consommé par tonnes x kilomètres de marchandise transportée. Ceci est obtenu en faisant évoluer les ratios entre les consommations de carburant en tonnes fournies jusqu'à l'année 1998 par le CPDP [14] et les données de trafic de la CCTN [670]. Les engins mis en œuvre sont supposés utiliser comme carburant :
 - Fioul domestique (FOD) : Le FOD est utilisé jusqu'en septembre 2011 (l'hypothèse prise en compte est que deux tiers de la consommation totale en 2011 correspond 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 66 : Logigramme du processus d'estimation des émissions du transport par voie navigable

**Émissions de CO₂**

Les émissions de CO₂ 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.

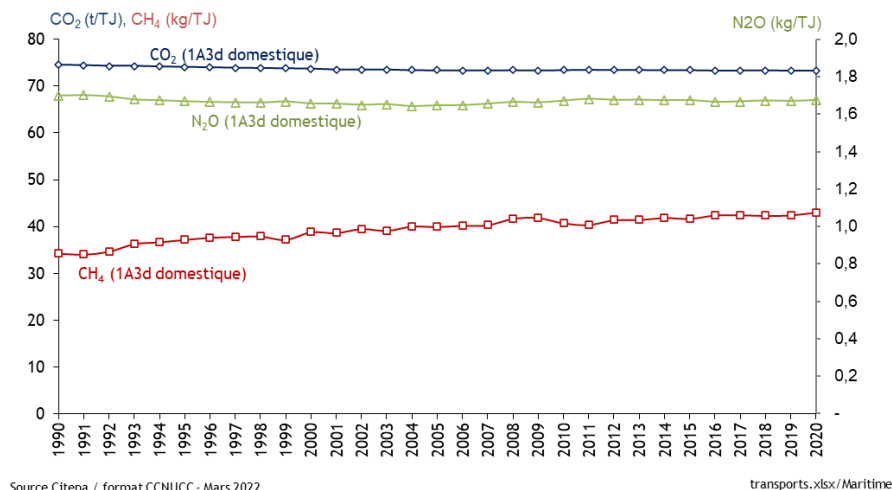
Émissions de CH₄

Pour les bateaux de plaisance, les émissions de CH₄ sont estimées sur la base d'un facteur d'émission de 58,0 g CH₄/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 CH₄/GJ [669].

Émissions de N₂O

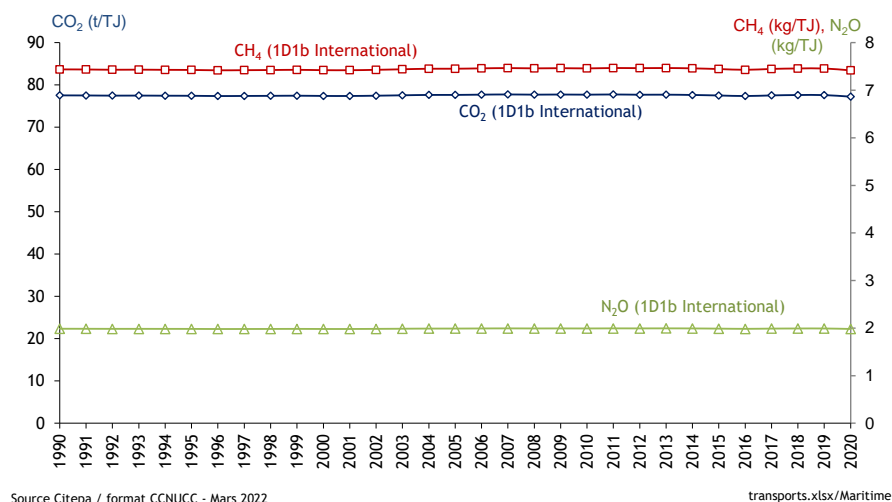
Le facteur d'émission utilisé est établi à 1,9 g N₂O/GJ pour le gazole et à 1,5 g N₂O/GJ pour l'essence. L'origine des facteurs d'émission de base est la référence [669].

Figure 67 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre Kyoto) du transport maritime domestique



L'augmentation continue du facteur d'émission de CH₄ est liée à la proportion grandissante d'essence dans le mix énergétique.

Figure 68 : Evolution des facteurs d'émission de GES du transport maritime international



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

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

La méthode appliquée est de rang GIEC 2.

Les données de consommation de gaz sont disponibles pour les différents sites ou entreprises [19, 29] et permettent une estimation assez fine des émissions pour la plupart des substances, notamment celles concourant à l'acidification et au changement climatique.

Les données d'activités et les émissions déclarées par les exploitants permettent de calculer des facteurs d'émission moyens représentatifs du parc français.

Émissions de CO₂

Les émissions de CO₂ 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 SEQUE à partir de 2005 [19].

Émissions de CH₄

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 N₂O

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 69 : Logigramme du processus d'estimation des émissions.

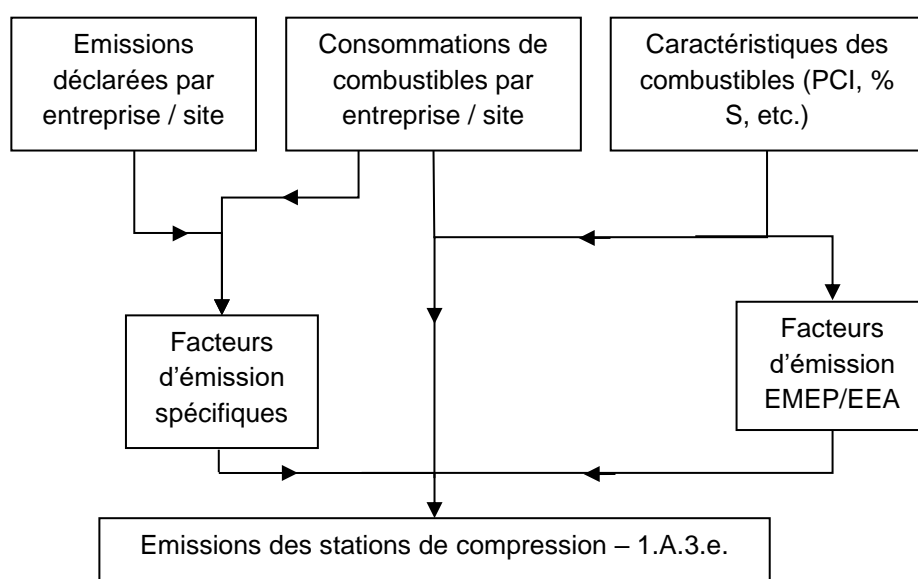
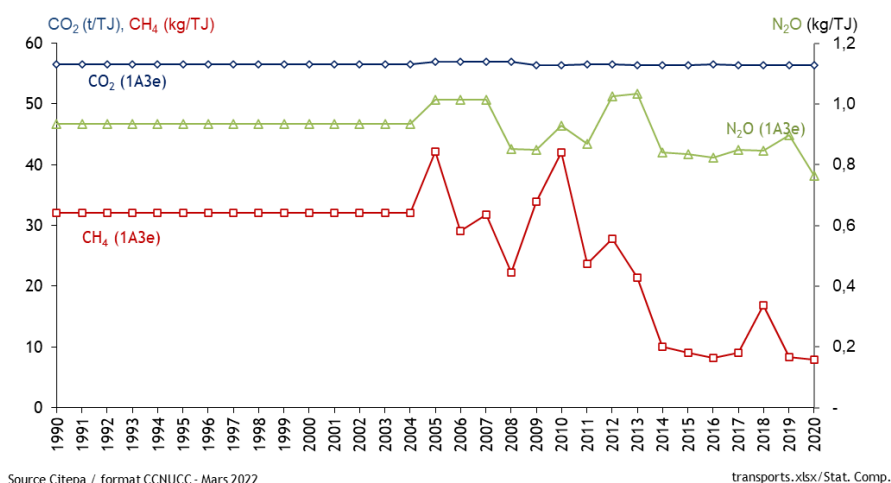


Figure 70 : Evolution des facteurs d'émission de GES (périmètre Kyoto) des stations de compression



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

Cf. section 1.A.4.a

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.

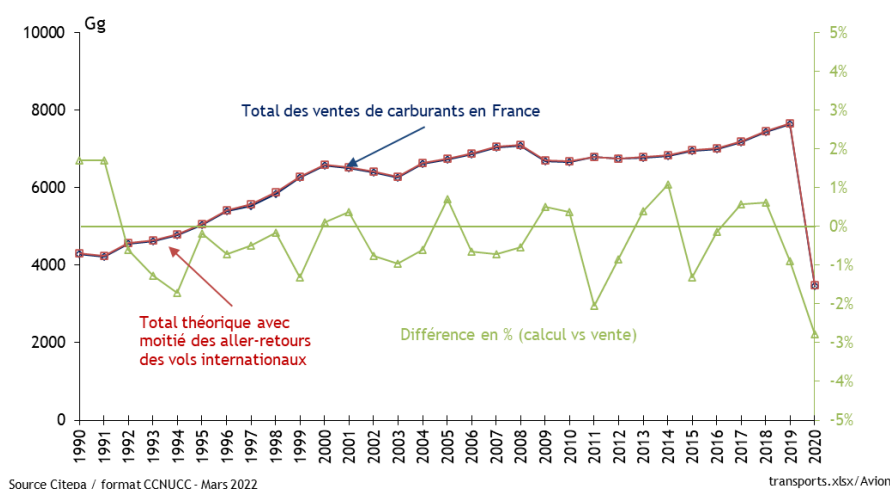
L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes associées au secteur est effectuée au 3^{ème} niveau de la catégorie CRF (i.e. 1.A.3.).

Les données d'activité pour les carburants utilisés dans le transport sont très précises en raison de statistiques précises sur les ventes totales de carburant. L'incertitude des données d'activité est ainsi égale à 3%.

Les incertitudes des données d'activité au niveau des transports aérien et routier peuvent être plus importantes en vue de l'écart entre les consommations théoriques et les ventes françaises.

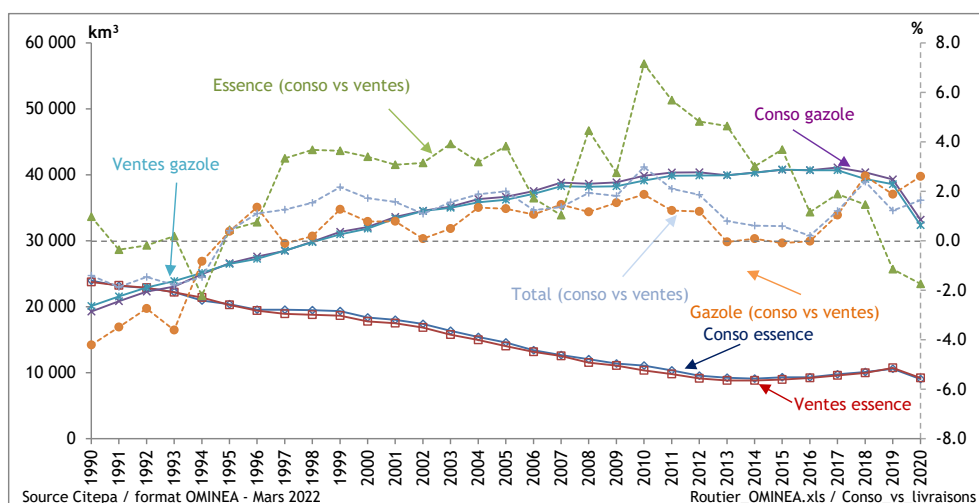
Pour le transport aérien, la comparaison des consommations théoriques et des ventes françaises montre des différences variant de -10,7 % à 3,5 % selon l'année.

Figure 71 : Comparaison entre les consommations théoriques du modèle et les ventes totales françaises de carburants



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 en place d'une nouvelle version du logiciel 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 -0,4 % à 9,8 %.

Figure 72 : Comparaison entre les consommations de carburants du routier sur le territoire et les ventes/livraisons à usage routier (en métropole)



Concernant l'incertitude sur le facteur d'émission de CO₂, 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 CO₂ de l'essence et du gazole.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission de CH₄ et de N₂O sont de 50% pour chaque polluant. Ceci est basé sur la littérature (Uncertainty Estimates and Guidance for Road Transport Emission Calculations. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. EUR 24296 EN - 2010. "Table 6-3" p94) et (Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. 2016, "11 APPENDIX: Quality codes" p73) tenant compte de l'avis des experts sectoriels.

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.

3.2.6.4 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 CO₂, 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 (SEQUE).

D'autre part, les statistiques recueillies entrent dans le champ de l'assurance qualité de l'organisme émetteur.

3.2.6.5 Recalculs

Impact des recalculs du CRF 1.A.3.

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO2e	122 154	132 444	140 790	142 239	134 909	134 998	133 299	132 504	132 467	133 561	134 163	134 473	131 857	132 180	0
Nouveau	kt CO2e	122 293	132 329	141 051	142 041	133 750	134 695	133 018	132 309	132 262	133 744	133 938	134 280	131 652	131 725	109 469
Différence	kt CO2e	+138	-115	+261	-199	-1 159	-303	-281	-195	-205	+182	-225	-193	-205	-455	+109 469
	%	+0%	-0%	+0%	-0%	-1%	-0%	-0%	-0%	-0%	+0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-

Source Citepa / janvier_2022

Rapport_CRF.xlsm / 1.A.3

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

3.2.6.5.1 Transport aérien (1.A.3.a.)

Description du recalcul

- Estimation et spatialisation des vols non commerciaux
 - sur les 16 plus grand aéroports, toutes les données depuis 2011 pour spatialiser ;
 - sur les autres terrains :
 - jets/turboprop : spatialisation à partir des plans de vols (depuis 2014)
 - pistons : source UAF des vols non commerciaux (depuis 2011)
 - pour les années antérieures, on considère que c'est constant, sauf pour piston (indexé sur ventes annuelle avgas métropole) ;
- Ajustement des coefficients de consommations de kérosène (1990-2011) ;
- 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.

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

Description du recalcul

Activité :

- Mise à jour des données de parcs, de trafics et de consommations du bilan annuel des transports [1141] (fin du rebasement) ;
- Nouvelle classification du parc pour mieux prendre en compte les motorisations par catégorie de véhicule (GNV, GPLc, Electricités) ;
- Prise en compte du bio GNV.

Raison et justification

Activité : Amélioration de l'exactitude par la prise en compte de données plus récente.

3.2.6.5.3 Transport ferroviaire (1.A.3.c.)

Description du recalcul

Activité :

- Mise à jour de données d'activité (2016-2019)

Raison et justification

Activité :

- Amélioration de la cohérence temporelle.

3.2.6.5.4 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.

Raison et justification

- Mise à jour des activités : amélioration de l'exactitude.

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

Stations de compression du réseau de transport et de distribution du gaz (1.A.3.e.)

Pas de recalculs

3.2.6.6 Améliorations envisagées

Transport aérien :

Pas d'amélioration prévue.

Transport routier :

Le calcul des incertitudes par la méthode de Monte-Carlo a commencé à être mis en place, mais faute de temps pour la vérification et la validation, les résultats n'ont pas pu être intégré à cette édition.

Suivi des mises à jour de la méthodologie et des coefficients constitutifs des facteurs d'émissions et de consommations.

Transport ferroviaire :

Pas d'amélioration prévue.

Maritime, fluvial, plaisance :

Mise à jour de la répartition domestique/international du maritime en métropole sur la base des données AIS.

Autres transports :

Pas d'amélioration prévue.

3.2.7 Autres secteurs (1A4)

3.2.7.1 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 73 : Consommation de combustibles dans les différents sous-secteurs (Périmètre Kyoto)

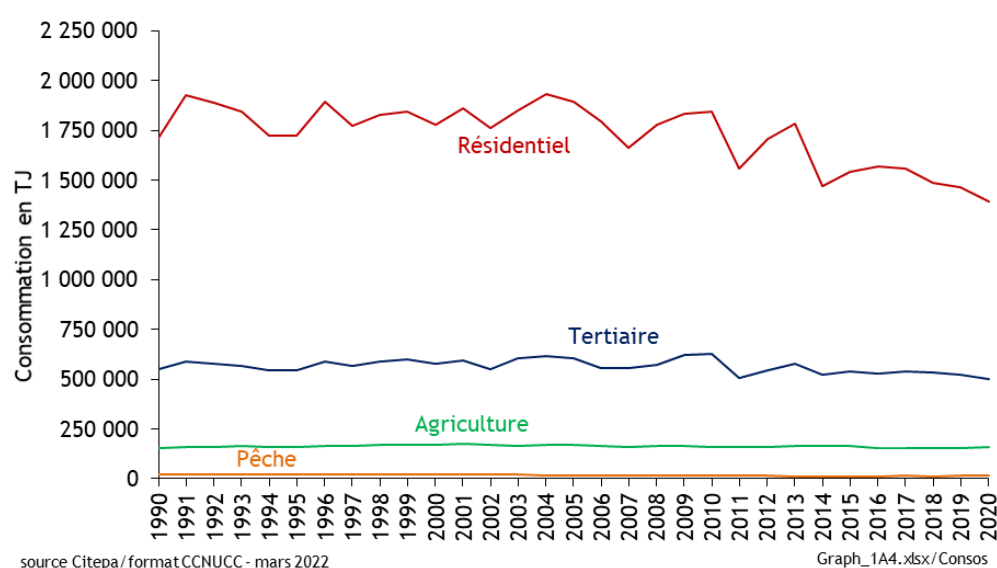
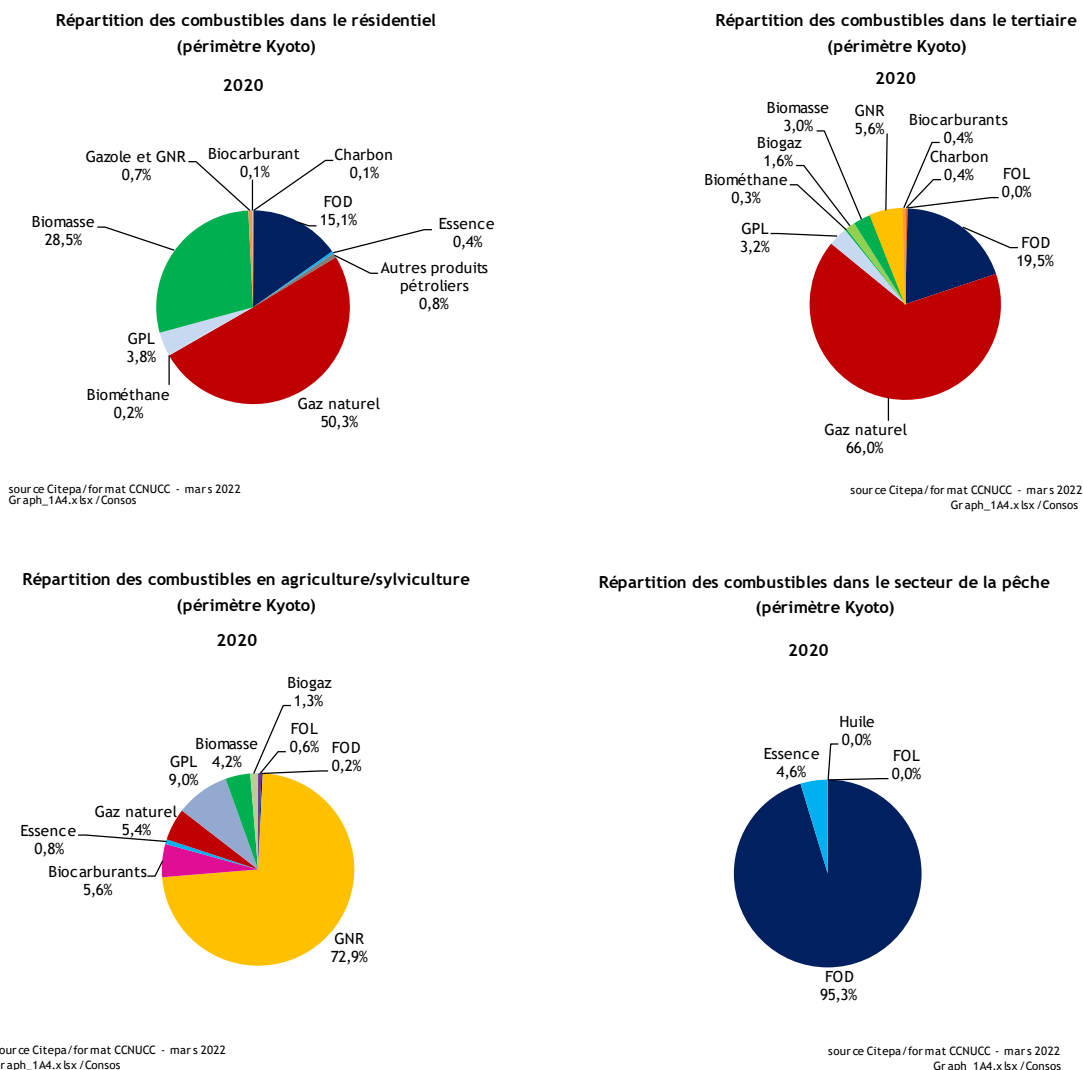


Figure 74 : Répartition des combustibles dans les sous-secteurs en 2020 (Périmètre Kyoto)



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 2020, les différents sous-secteurs du CRF 1A4 qui sont catégories clés (hors UTCATF) en niveau d'émissions, ou en évolution d'émissions depuis 1990, sont les suivants :

Tableau 54 : Substances et combustibles pour lesquelles le secteur 1A4 est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A4b - gas	CO ₂	3 ^{ème}	6,4%	6 ^{ème}	5,0%
1A4b - oil	CO ₂	5 ^{ème}	3,4%	7 ^{ème}	4,5%
1A4a - gas	CO ₂	7 ^{ème}	3,2%	8 ^{ème}	3,4%
1A4c - oil	CO ₂	10 ^{ème}	2,5%	24 ^{ème}	1,0%
1A4a - oil	CO ₂	13 ^{ème}	1,8%	11 ^{ème}	2,4%
1A4b - biomass	CH ₄	-	-	23 ^{ème}	1,1%
1A4b - coal	CO ₂	-	-	32 ^{ème}	0,7%
1A4a - coal	CO ₂	-	-	34 ^{ème}	0,6%

3.2.7.1.1 Commercial/tertiaire (1A4a)

Cette section concerne les activités commerciales, institutionnelles et tertiaires consommatrices d'énergie. Les usages énergétiques de ces activités reposent pour une part importante sur la production de chaleur (chauffage) pour différents types de bâtiments (bureaux, commerces, hôpitaux, universités, 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.

3.2.7.1.2 Résidentiel (1A4b)

Le secteur résidentiel est le plus gros consommateur de biomasse par l'utilisation du bois de chauffage. Or, la combustion du bois est une source d'énergie émettrice de CH₄.

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.

3.2.7.1.3 Agriculture/sylviculture/pêche (1A4c)

Les caractéristiques des combustibles pris en compte sont les caractéristiques moyennes par défaut décrites dans la section générale sur l'énergie.

Sources fixes

La consommation de combustibles fossiles et de biomasse des sources fixes agricoles est déterminée à partir du bilan de l'énergie produit annuellement par le SDES [1] pour la métropole.

La part de biométhane consommé est retranchée de la consommation de gaz naturel à partir des données fournies dans le bilan de l'énergie [1].

D'autres sources statistiques sont disponibles pour l'Outre-mer [69]. La consommation de gaz de pétrole liquéfié (GPL) du secteur en Outre-mer est considérée en totalité dans les sources fixes.

Sources mobiles : agriculture et sylviculture

Les équipements mobiles dans les secteurs agricoles et sylvicoles sont supposés consommer la totalité du FOD, du GNR et de l'essence indiquée dans les bilans énergétiques du SDES [1]. La consommation totale de FOD en Outre-mer est également considérée pour les engins mobiles.

Les parcs de tracteurs agricoles, de moissonneuses et de motoculteurs sont issus du CPDP [14] et de l'Agreste [333]. Des évolutions dans les séries statistiques ont conduit à extrapoler le parc entre les années où des données sont disponibles (1988, 2000, 2005 et 2013).

Les parcs d'engins forestiers (tracteurs, débusqueuses, débardeuses) sont issus de plusieurs références [76, 77]. Il est également pris en compte un parc de tronçonneuses sur la base des données disponibles [72, 73] dans la proportion de respectivement 50% et 35% pour l'agriculture et la sylviculture. Le solde est supposé appartenir au secteur résidentiel / tertiaire. Les caractéristiques relatives à l'utilisation de ces engins sont déterminées à partir des données disponibles dans plusieurs sources [71, 75].

L'ensemble de ces hypothèses reste approximatif mais permet de déterminer des consommations d'énergie. Ces dernières sont consolidées grâce aux consommations fournies par les bilans énergétiques ce qui permet de s'affranchir, dans une certaine mesure, des risques de double compte dans les parcs de machines.

Sources mobiles : pêche

Le calcul est basé sur la détermination d'un parc de bateau de pêche par motorisation, par norme et par puissance, auquel il est attribué des heures de navigation afin d'obtenir un parc flottant en kWh. En utilisant les facteurs de consommation en g/kWh du guide EMEP [1133], les consommations de carburant sont calculées par motorisation et par norme. Les émissions de polluants sont alors obtenues en appliquant les facteurs d'émissions en g/GJ ou en g/t.

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 : turbines à vapeur (ST), moteurs à haute vitesse (HSD), moteurs à moyenne vitesse (MSD), moteurs à faible vitesse (SSD) et turbines à gaz (GT).

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 en marché à partir de 2006.
- La motorisation : moteurs 2 temps et à 4 temps.

La répartition du parc statique est calculée à partir des données statistiques [1149]. A partir du nombre de bateaux par puissance moteur et année de mise en service, le parc statique de navires est alors disponible 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, du nombre d'heure en mer et de la part inactive de navire.

A partir des statistiques [1150] la part inactive de bateaux et le nombre de jours en mer par type de navire sont estimés. Il en résulte un parc flottant de navires par motorisation, par norme et par puissance mise en jeu (kWh).

L'hypothèse de répartition constante entre 25% de bateaux à moteurs 2 temps et 75% à 4 temps est considérée pour les bateaux essence.

Une répartition en pourcentage des normes par motorisation est calculée pour répartir les consommations de carburants.

Les ventes de carburants à destination des bateaux de pêche

Pour la métropole, les consommations de carburants sont les suivants :

- 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 : Les consommations sont issues du bilan d'énergie de la France Métropolitaine [1].
- Essence : Les consommations sont issues du CPDP [14] qui fournit les consommations totales attribuées à la pêche.
- Lubrifiant : La consommation d'huile 2 temps mélangée et brûlée avec l'essence est calculée en prenant en compte l'hypothèse d'un mélange à hauteur de 3 % en volume.

Pour les Départements-Régions d'Outre-mer (DROM), les consommations totales de combustibles (gazole et essence) sont établies selon le bilan d'énergie réalisé au Citepa [666].

La répartition en pourcentage du parc flottant obtenue auparavant (par motorisation et par norme) est appliquée aux consommations totales par type de combustible.

La pêche est affectée en totalité au périmètre national même si les zones de pêche s'étendent bien au-delà des eaux territoriales et des zones économiques exclusives (ZEE).

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 disponibles en annexe électronique et sur le site internet suivant <https://www.citepa.org/fr/omine/>

3.2.7.2.1 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].

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 ».

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 CO₂

Les émissions de CO₂ 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 CH₄

Les émissions de CH₄ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

Émissions de N₂O

Les émissions de N₂O sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

3.2.7.2.2 Résidentiel (1A4b)

La méthode appliquée est de rang GIEC 1.

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. Il est fait l'hypothèse que la consommation de gazole est le fait de groupes électrogènes et que la consommation d'essence est principalement le fait de groupes électrogènes et d'engins de jardinage.

Compte tenu des approximations importantes, il est fait l'hypothèse que tous les équipements considérés dans cette section appartiennent au secteur résidentiel et qu'aucun n'appartient au secteur tertiaire. Cette hypothèse n'engendre pas d'erreur autre qu'un biais dans la répartition des sous-secteurs, supposé relativement faible car la majeure partie de ces équipements est utilisée par des particuliers.

Sources fixes

Les consommations des installations résidentielles sont intégrées dans le secteur « résidentiel » du bilan énergétique national [1]. D'autres sources statistiques sont disponibles pour l'outre-mer [63, 69].

Les données complémentaires disponibles dans les services en charge du bilan énergétique national [1] et publiées par le CPDP [14] permettent une distinction plus fine vis-à-vis des combustibles,

notamment pour la gazole non routier (GnR), de la répartition entre secteurs résidentiel et tertiaire ainsi que parmi les usages (chauffage, eau chaude sanitaire, cuisson).

L'estimation des émissions liées à l'usage du bois dans les appareils domestiques individuels est réalisée à l'aide d'une méthodologie spécifique permettant la prise en compte de la diversité des appareils domestiques de chauffage au bois. En effet, les facteurs d'émission varient fortement d'un type d'équipement à un autre, c'est pourquoi les émissions de ce secteur sont calculées à partir d'un parc d'équipements. Ce parc est estimé, d'une part, à partir de données du CEREN [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].

Une distinction est réalisée pour évaluer la part grandissante des émissions dues à l'utilisation des granulés de bois dans ce secteur [1007][1008][1009].

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 CO₂

Les émissions de CO₂ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie 3.2.3.2, Table 40).

Émissions de CH₄

Sources fixes

Les émissions de CH₄ 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 d'une étude du Citepa [67].

Sources mobiles

Les émissions de CH₄ 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 N₂O

Sources fixes

Les émissions de N₂O sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

Sources mobiles

Les émissions de N₂O 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).

3.2.7.2.3 Agriculture/sylviculture (1A4c)

La méthode appliquée est de rang GIEC 1/2.

Émissions de CO₂

Les émissions de CO₂ 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 CH₄

Pour les sources fixes, les émissions de CH₄ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par combustible issus des lignes directrices du GIEC 2006 [646], sauf pour la combustion du bois qui est estimée à partir des facteurs d'émissions fournies par une étude ADEME [285].

Pour les sources mobiles, les émissions des engins diesel sont déterminées au moyen de facteurs d'émission recalculés à partir des différents engins et des caractéristiques associées [71, 142]. Les facteurs d'émission moyens varient en fonction du temps avec l'évolution du parc et des technologies des engins, et sont basés sur les facteurs d'émission Tier 3 proposés par le guidebook EMEP/EEA [1077]. Pour les engins essence, les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission par combustible issus des lignes directrices du GIEC 2006 [645]. De plus, dans les engins mobiles, la combustion souvent imparfaite conduit principalement au rejet de COVNM.

Tableau 55 : Facteurs d'émission du CH₄ 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							
Motoculteurs, motofaucheuses...							
Presses à grosses balles							
Pulvérisateurs automoteurs							
Récolteuses de maïs automotrices	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	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 N₂O

Les émissions de N₂O 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.

3.2.7.2.4 Pêche (1A4c)

Pour l'estimation des émissions de CO₂, la méthode appliquée est de rang GIEC 2 (avec des facteurs d'émission de CO₂ nationaux spécifiques).

Pour l'estimation des émissions de CH₄ et N₂O, la méthode appliquée est de rang GIEC 1.

Émissions de CO₂

Les facteurs d'émission retenus sont les valeurs spécifiques françaises par défaut, cf. section générale énergie.

Émissions de CH₄

Les émissions de CH₄ 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 de 7,5 g/GJ pour le fioul lourd.

Émissions de N₂O

Les émissions de N₂O sont estimées sur la base des facteurs d'émission issus des directives GIEC [669]. Ces valeurs sont égales à 1,8 g/GJ pour l'essence, à 1,9 g/GJ pour le gazole et à 2,0 g/GJ pour le fioul lourd.

3.2.7.3 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 de la catégorie 1A4 est effectuée au 3^{ème} 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 de l'IPCC [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 CO₂ 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 CH₄ et de N₂O sont de 100 % par type de combustible. Pour le CH₄, ceci est basé sur les lignes directrices de l'IPCC [IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - Chapitre 2 Combustion sources mobiles, Table 2.12] tenant compte l'avis des experts sectoriels. Pour le N₂O, les lignes directrices de l'IPCC 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 CH₄ et le N₂O sont plus élevées, car elles reflètent l'utilisation de facteurs par défaut (provenant des lignes directrices de l'IPCC).

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.

3.2.7.4 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.

3.2.7.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRF 1A4

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	96 766	95 567	98 924	104 647	97 004	83 616	89 708	92 886	76 904	80 003	80 033	79 430	75 284	73 504	0
Nouveau	kt CO ₂ e	97 974	96 927	100 907	106 743	99 447	84 580	90 671	93 775	77 814	80 888	80 877	80 326	76 235	74 257	71 267
Différence	kt CO ₂ e	+1 208	+1 360	+1 982	+2 096	+2 443	+964	+963	+889	+910	+885	+845	+896	+951	+753	+71 267
	%	+1%	+1%	+2%	+2%	+3%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%	-

Source Citepa / janvier 2022

Rapport_CRF.xlsm / 1.A.4

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

3.2.7.5.1 Commercial/tertiaire (1A4a)

Description des recalculs

Correction de deux établissements industriels dont le secteur source a été corrigé (passage en combustion industrie (1A2) avec :

- baisses de consommations de gaz naturel, fioul lourd et de jusqu'en 2004 ;
- baisses de consommations de gaz naturel et dans une moindre proportion de fioul lourd et domestique entre 2005 et 2015.

Changement des consommations liées au traitement du bilan énergétique national, hausse généralisée de toutes les émissions :

- hausses des consommations de fioul domestique (NAPFUE 204) sur 1990-2017, légères baisses en 2018-2019 ;
- hausses des consommations de gaz naturel (NAPFUE 301) sur toute la période ;
- hausses des consommations de GPL (NAPFUE 303) sur toute la période ;
- baisses de consommations de FOL (NAPFUE 203) sur 1990-1992 et 1995-2012, légères hausses sur 1993-1994 et 2013-2015 ;
- hausses de la consommation de GNR (NAPFUE 205) et 25B sur 2016-2019, légères baisses sur 2012-2014 ;
- légères augmentation du biogaz de 2015 à 2019.

CO₂ : baisse minime presque toutes les années via correction du FE CO₂ du gaz naturel

Evolution des consommations de bois sur la période 2011-2019 (baisse en 2011, 2014-2015 et 2017-2019, hausse en 2012-2013 et en 2016), affecte toutes les émissions à la hausse ou à la baisse selon les années

Raison et justification

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

3.2.7.5.2 Résidentiel (1A4b)

Description des recalculs

Changement des consommations liées au traitement du bilan énergétique national : hausse généralisée de toutes les émissions :

- hausses des consommations de fioul domestique sur toute la période ;
- hausses des consommations du pétrole lampant (NAPFUE 206) sur toute la période ;
- hausses des consommations de GPL (NAPFUE 303) sur toute la période ;

- légère hausse de la consommation de GNR (NAPFUE 205) et 25B en 2016-2018 et légères baisses sur 2012-2014 et 2019.

CO₂ : baisse quasi toutes les années via correction du FE CO₂ du gaz naturel

Modifications marginales des consommations de bois-énergie sur 2011-2019, affecte toutes les émissions.

Ajustements et corrections multiples sur le modèle du parc d'appareils individuel de chauffage au bois :

- Corrections marginales dans la modélisation des décroissances du nombre d'appareils du parc après 2015.
- Correction des parcs poêles et chaudières avec prise en compte des appareils granulés dans les parcs utilisés.
- Modifications des parcs des inserts et des poêles : prise en compte des données 2017 de l'ADEME et adaptation des décroissances des appareils des parcs en empêchant les données parc pré-1988 d'augmenter. Cela explique les baisses observées entre 2005 et 2010.
- Modifications du parc des cheminées ouvertes : on prend une hypothèse conservatrice de non-réduction du nombre de foyers ouverts en accord avec une étude de l'ADEME : cela explique la hausse observée dans les dernières années.
- Modifications marginales du parc des chaudières

Raison et justification

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

3.2.7.5.3 Agriculture/sylviculture/pêche (1A4c)

Description des recalculs

- 1A4ci - agriculture/sylviculture - sources fixes :

Pour la partie consommations :

- Métropole : révision de la consommation de biomasse pour 2011-2019 suite à une modification du traitement du bilan de l'énergie qui incluait déjà les consommations des territoires outre-mer dans le périmètre KP (environ -4,5/5 ktep retirée). Modification à la baisse également des consommations de biogaz allouées au secteur agricole suite à une révision des données du bilan de l'énergie pour 2016-2019 (-1 à -2 ktep). Enfin, pour l'année 2019, la consommation de GPL a été révisée à la hausse dans le bilan de l'énergie du SDES (+27 ktep) ;

- Outre-mer inclus dans l'UE/le périmètre KP : révision des consommations du bilan OM pour les consommations de GPL de la Guadeloupe pour 2017-2019.

Pour la partie émissions : révision légèrement à la baisse (de -0,2 à -0,4%) des FE CO₂ du gaz naturel pour la période 1990-2013 (hors 2008-2009).

- 1A4cii - agriculture/sylviculture - sources mobiles :

Pour la partie consommations :

- Métropole : révision à la baisse de la consommation de gazole non routier (GNR) de 2019 (-40 ktep)

- Outre-mer inclus dans l'UE/le périmètre KP : révisions significatives du bilan OM pour les consommations de gazole de la Guadeloupe sur 1990-2003 (hausse de la consommation totale OM de +6% à 27% pour 1990-1997 et 1999-2000, et baisse d'environ 4 à 19% pour 1998 et 2001-2003). Légère révision à la baisse des consommations de gazole de la Réunion pour 2016-2018 (environ -1% du total OM).

- 1A4ciii - pêche :

Pas de recalcul particulier.

Raison et justification

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

3.2.7.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report/ paragraph	MS response / status of implementation
Energy	1.A.4.b Residential - all fuels - CO2 (E.27, 2019) Transparency	Provide in the NIR the values for and references to the sources of the EFs for each fuel type consumed in category 1.A.4.b (residential), and specify if they are default EFs from the 2006 IPCC Guidelines or country-specific EFs.	The precise reference to table 40 and NIR p.143 is not in the 1.A.4.b session. In the NIR p.251 the reference is "Section générale énergie". This is another transparency issue. During the review, the Party clarified that the EFs of 1.A.4.b (residential) are reported in its NIR (p.143), in the generic section on Energy, on table 40.	2021 Review PMF* / E.18	Implemented. The reference to the table 40 has been added for 1.A.4.b Residential EFs.
Energy	1.A.4 Other sectors - solid, liquid and gaseous fuels - CO2, CH4 and N2O (E.11, 2019), (E.26, 2017) Transparency	Include in the NIR the reason the AD used to estimate emissions from military activities are not separately provided, and indicate where the emissions from military activities are included in the submission or provide estimates for these emissions.	During the 2019 review the Party clarified that GHG emissions from military activities were included under category 1.A.4.a (commercial/institutional), because of confidential reasons. The Party also stated that a new chapter for category 1.A.5.b (mobile (other)) would be included in the NIR to explain where emissions from military activities are included. The Party reported in its NIR (p.256) one line explanation "Par souci de confidentialité, toutes les consommations et émissions du 1A5b sont incluses dans le 1A5a." The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet included in the NIR the two sections 1A5a and 1A5b with a transparent explanation on the allocation of the emissions from military	2021 Review PMF* / E.5	Implemented. This issue is taken into account in the submission by 15th March 2022. The correspondent explanation for the key "IE" in table 9 has been completed.

			activities. The ERT also recommends that the correspondent explanation for the key "IE" in table 9 is completed.		
--	--	--	--	--	--

3.2.7.7 Améliorations envisagées

Pas d'amélioration particulière envisagée.

3.2.8 Autres (1A5)

3.2.8.1 Caractéristiques de la catégorie

En 2020, les différents sous-secteurs du CRF 1A5 qui sont catégories clés (hors UTCATF) en niveau d'émissions, ou en évolution d'émissions depuis 1990, sont les suivants :

Tableau 56 : Substances pour lesquelles le secteur 1A5 est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1A5a	CO ₂	37 ^{ème}	0,4%	27 ^{ème}	0,9%

3.2.8.1.1 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.

3.2.8.1.2 Non Spécifié - Sources mobiles (1A5b)

Par souci de confidentialité, toutes les consommations et émissions du 1A5b sont incluses dans le 1A5a.

3.2.8.2 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 publications annuelles du panorama du gaz renouvelable [1112].

En fonction des combustibles, il est possible d'attribuer les consommations pour des sources fixes (chaudières, moteurs, etc...) ou des sources mobiles (véhicules militaires terrestres non routier, aviation).

Les consommations d'essence aviation (Avgas) et de kérosène sont séparées en 2 sous-catégories, correspondant aux phases de LTO et aux phases de croisière. Pour cela, les répartitions des consommations LTO et croisière de l'aviation civile en métropole sont appliquées aux consommations du bilan de l'énergie [1].

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
LTO	22%	19%	18%	18%	18%	18%	18%	17%	17%	17%
Croisière	78%	81%	82%	82%	82%	82%	82%	83%	83%	83%

Répartition des consommations par phase de l'aviation

A ces consommations sont appliqués les facteurs d'émission moyens de l'aviation civile de la métropole par type de phase et par combustible.

Emissions de CO₂

Sources fixes

Les émissions de CO₂ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie) ou par défaut et issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

Sources mobiles

EMNR : Les émissions de CO₂ sont déterminées au moyen de facteurs d'émission nationaux par combustible (cf. section générale énergie) ou par défaut et issus des lignes directrices du GIEC 2006 [638].

Aviation : cf. 1.A.3.a

Emissions de CH₄

Sources fixes

Les émissions de CH₄ 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 CH₄ sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices 2019 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 N₂O

Sources fixes

Les émissions de N₂O 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 N₂O sont déterminées à l'aide de facteurs d'émission par défaut issus des lignes directrices 2019 EMEP/EEA [1128] et spécifiques à la nature du carburant (essence) et au type d'engin (4 temps).

Aviation : cf. 1.A.3.a

3.2.8.3 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 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 de l'IPCC [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 CO₂ 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 CH₄ et de N₂O sont de 100 % par type de combustible. Pour le CH₄, ceci est basé sur les lignes directrices de l'IPCC [IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - Chapitre 2 Combustion sources stationnaires, Table 2.12] tenant compte de l'avis des experts sectoriels. Pour le N₂O, les lignes directrices de l'IPCC 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 CH₄ et le N₂O sont plus élevées, car elles reflètent l'utilisation de facteurs par défaut (provenant des lignes directrices de l'IPCC).

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 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.

3.2.8.5 Recalculs

Correction marginale de la proportion de biométhane injecté sur le réseau avec modification mineures sur 2013-2014 et 2017-2019

Correction marginale du FE CO₂ du gaz naturel (NAPFUE 301), à la baisse globalement sur 1990-2007, 2010-2013 et 2019.

Pour les autres sources mobiles, révision des facteurs de consommation de certains types d'avions et mise à jour des coefficients de la base OACI, ayant pour effet de changer la répartition des consommations entre LTO et croisière pour les différents périmètres (KP, MT), et impactant les facteurs d'émission de CH₄.

3.2.8.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report/ paragraph	MS response / status of implementation
Energy	1.A.5.b Mobile (other) - solid, liquid and gaseous fuels - CO ₂ and CH ₄ (E.12, 2019), (E.27, 2017) Comparability	Correct the notation key for emissions to "IE".	The Party reported in its CRF table 9 the notation key "IE" however the corresponded explanation in the last column was missing. During the review, the Party clarified that the missing explanations for CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O EF related to 1A5b should be "because of confidential issue with mobile military fuel consumptions, this AD and emissions are included elsewhere in 1A5a (instead of 1A5b) together with other stationary source". The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet included this explanation in CRF table 9.	2021 Review PMF* / E.6	Implemented. The explanation is included in the 2022 edition of the CRF Tables.

3.2.8.7 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 (CRF 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 57 : Substances pour lesquelles le secteur 1B est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
1B1a	CH ₄	-	-	16 ^{ème}	1,7%
1B2a	CO ₂	35 ^{ème}	0,4%	-	-
1B2b	CO ₂	-	-	55 ^{ème}	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 CH₄ 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 décliné au cours des dernières décennies pour cesser totalement en 2002 pour les mines à ciel ouvert et en 2004 pour les mines souterraines.

La formation du CH₄ dans les mines dépend des caractéristiques des veines exploitées. Certaines mines non grisouteuses ne sont pas émettrices. Les émissions se poursuivent après la fin de l'exploitation.

Les émissions de CH₄ de l'après mine (après la cessation de l'activité d'extraction dans les mines souterraines) sont prises en compte dans ce sous-secteur à partir de 2004. Avant cette date, ces émissions sont agrégées avec celles de l'extraction. Ces fuites de méthane sont faibles et se réduisent progressivement.

Concernant la « production » de charbon indiquée dans l'approche de référence, celle-ci correspond en fait à des tas de stockage (terrils) non utilisés pour lesquels les émissions de l'extraction ont déjà été considérées (l'année de leur extraction).

Les émissions de cette catégorie concernent uniquement la France métropolitaine, il n'y a pas de mines de charbon dans les territoires d'Outre-mer.

3.3.1.1.2 Transformation des combustibles minéraux solides (1B1b)

Cette section est dédiée aux émissions se produisant au cours des phases d'extinction et au défournement lors de la production de coke (fuites aux portes) au sein des cokeries minières et

sidérurgiques. Les émissions liées à la combustion sont traitées en section « 1A1c - solid fuel transformation ».

En France, la transformation de combustibles solides est pratiquement circonscrite à la production de coke dans les cokeries minières et les cokeries sidérurgiques. La liquéfaction, la gazéification et la production de combustibles défumés sont inexistantes ou marginales. L'activité minière hors cokerie est également rapportée dans cette catégorie. Le dernier bassin a cessé toute exploitation en 2004.

Il n'existe plus de cokerie minière en France depuis fin 2009. Trois cokeries sidérurgiques (i.e. au sein des sites intégrés de fabrication d'acier) existent en France.

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/omineia>

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), 2 pour la période après mine à compter de 2005.

Émissions de CO₂

Pas d'émission attendue.

Émissions de CH₄

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 CH₄ 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 CH₄ 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 [377], 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 annuelle est effectué.

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 N₂O

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 CO₂

Pas d'émission attendue.

Émissions de CH₄

Le méthane est le seul gaz à effet de serre considéré comme émis lors des phases d'extinction et de défournement des fours à coke. Les émissions des autres GES sont intégralement comptabilisées dans la section « 1A1c - solid fuels transformation ».

Les déclarations annuelles des sites [19] et des données communiquées par la fédération professionnelle du secteur de la sidérurgie [27] permettent de calculer un facteur d'émission par année à partir de 2006. Pour les années antérieures le facteur d'émission de 2006 est utilisé.

Émissions de N₂O

Pas d'émission attendue.

3.3.1.3 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 associées au secteur est effectuée au 3^{ème} 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 CH₄ 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 mines. Le Citepa vérifie les calculs et s'assure de la cohérence de la méthode appliquée pour l'ensemble des anciens bassins miniers français.

Par ailleurs, le facteur d'émission national de méthane (mines souterraines et en surface en exploitation) a été comparé à celui du tier 1 indiqué dans les Lignes directrices du GIEC 2006 pour s'assurer de la cohérence de l'ordre de grandeur.

3.3.1.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRF 1B1

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	4 810	4 927	2 026	389	255	54	51	52	52	32	16	20	14	15	16	17	18	15	0
Nouveau	kt CO ₂ e	4 810	4 927	2 026	389	255	54	51	52	52	32	16	20	14	15	16	17	18	15	26
Différence	kt CO ₂ e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+0,0015	+26
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	+0%	-

Source Citepa / janvier 2022

Rapport_CRF.xlsm / 1.B.1

Raison et justification du recalcul

Pour la production de coke en cokeries sidérurgiques, une correction a été apportée à la consommation de gaz d'aciérie en 2019. Amélioration de l'exactitude et de l'exhaustivité.

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

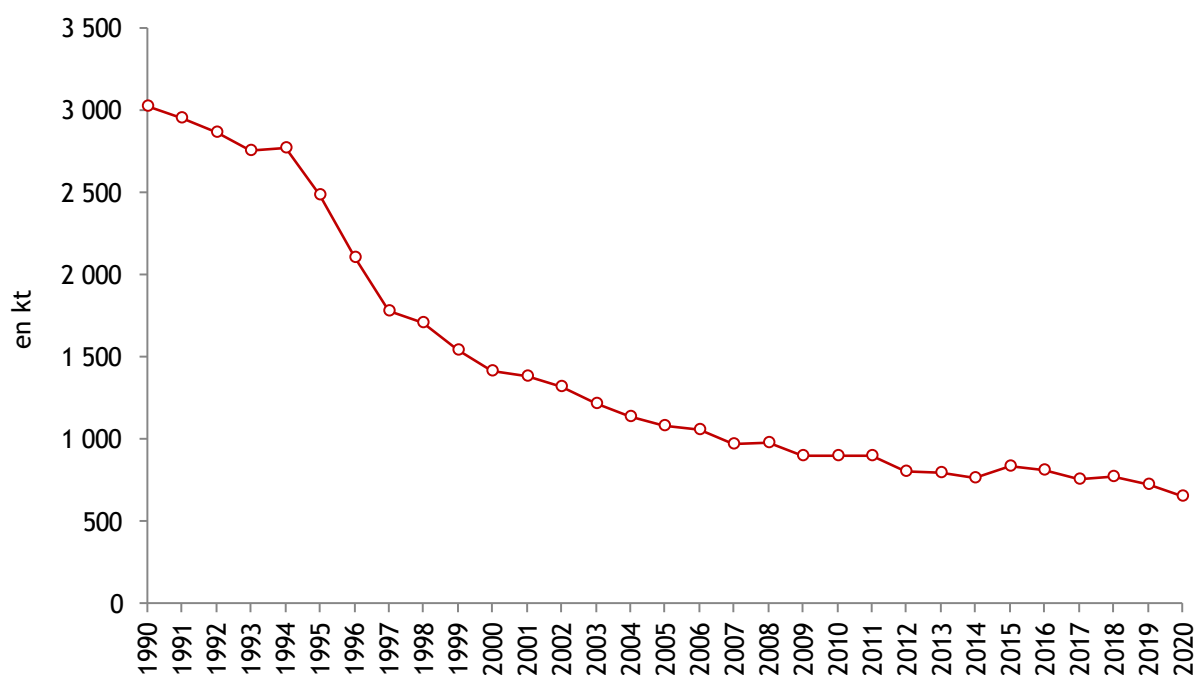
3.3.2.1.1 Production, transport, transformation des produits pétroliers et leur distribution (1B2a)

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.

L'extraction de pétrole brut est localisée uniquement en France métropolitaine. C'est une activité très réduite en France. La production nationale a fortement diminué entre 1990 et 2000 (-7% par an en moyenne) et décroît de façon moins accentuée mais progressive depuis 2000 (-3% par an) [14]. Elle ne satisfaisait que 4% de la consommation en 1990 et à peine plus de 1% une trentaine d'années plus tard.

Figure 75 : Extraction de pétrole (périmètre Kyoto)



Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

Graph_1B2a.xlsx / Pétrole

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 Kyoto et la distribution de produits pétroliers concerne la France entière. Cependant, l'activité de distribution de produits pétroliers n'est émettrice que de CO₂ et n'émet pas de GES directs.

La loi n° 2017-1839 du 30 décembre 2017 prévoit l'interdiction de l'attribution de nouveaux permis de recherche d'énergies fossiles et limite le renouvellement des concessions existantes à 2040.

Les procédés du raffinage du pétrole (1B2a4) sont émetteurs de CO₂, CH₄ et N₂O.

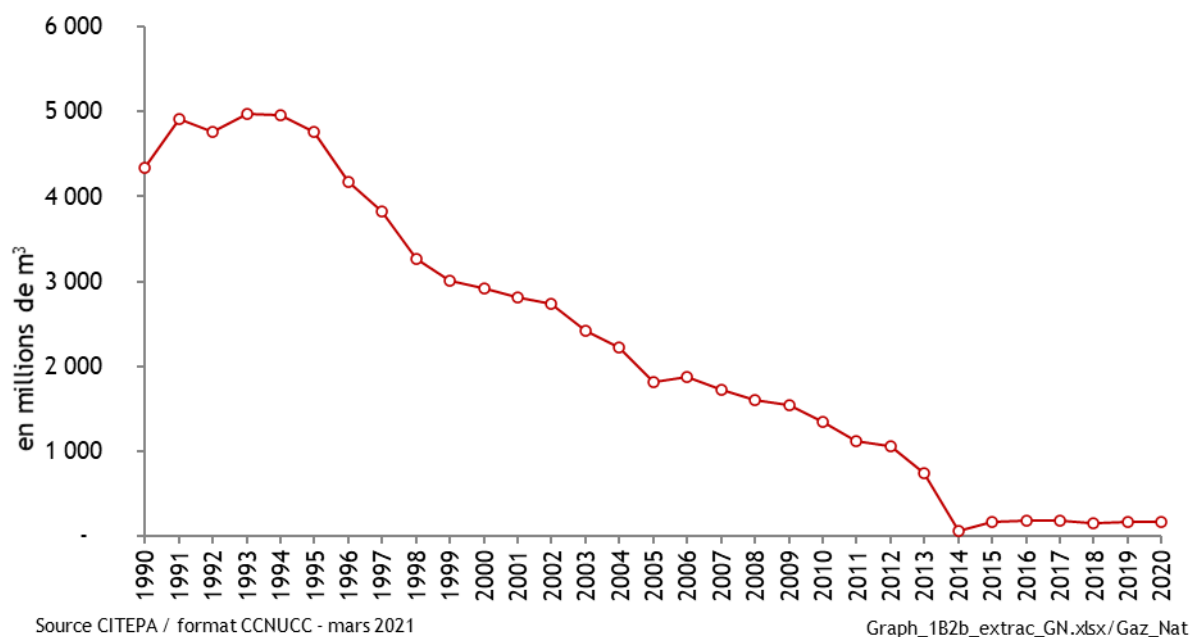
Il y a actuellement 9 raffineries déclarant une activité en France dont une située en Martinique (territoire d'Outre-mer inclus dans l'UE) et une récemment reconvertie en bioraffinerie (site de La Mède). Les procédés considérés sont :

- 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 CO₂ et CH₄. Ces variations sont liées à une des raffineries qui a 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 est considérée dans ce poste « autres procédés » et peut varier significativement d'une année à l'autre en expliquant les variations observées. Les émissions de CO₂ considérées sont conformes à l'EU-ETS.

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 décroît fortement au cours du temps avec l'épuisement progressif des gisements.

Figure 76 : Extraction de gaz naturel (périmètre Kyoto)



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 CO₂ contenu dans le gaz extrait sont très faibles en 2019 par rapport à 1990 et constituent donc une catégorie clé en termes d'évolution hors UTCATF (51^{ème} 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 CH₄ et de CO₂. Le transport et la distribution du gaz ne sont pas des catégories clés en 2019.

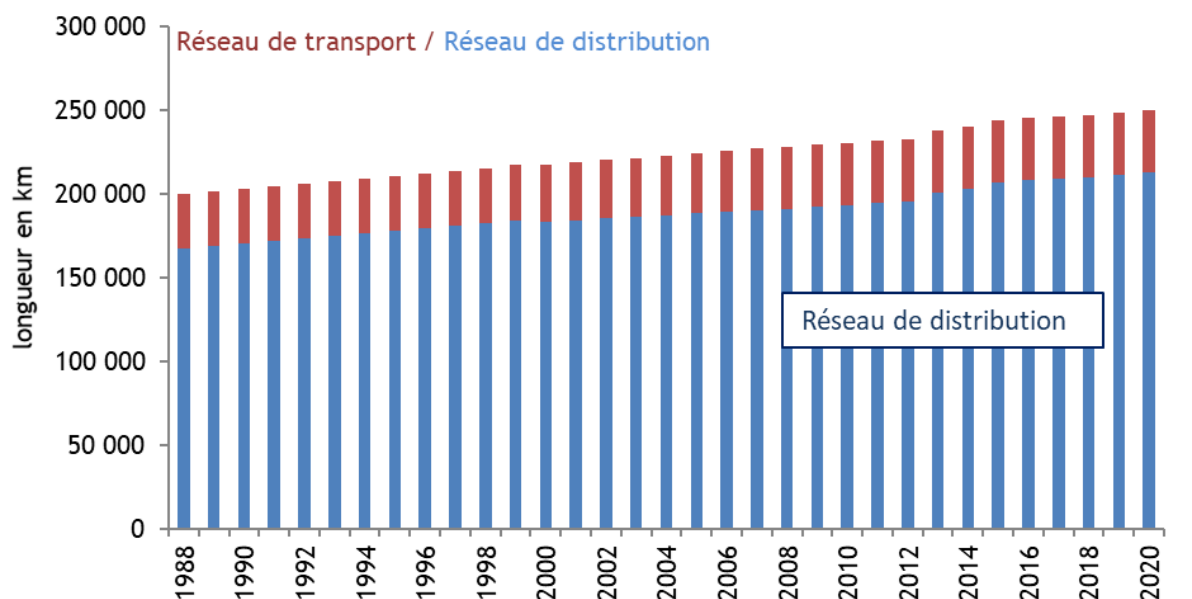
Les principales sources d'émissions fugitives couvertes proviennent :

- 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 CH₄, les COVNM et le CO₂.

Le transport du gaz naturel (via le réseau de distribution) s'effectue au travers du réseau haute pression (HP) d'une longueur supérieure à 35 000 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 CH₄.

Figure 77 : Longueur de réseau du gaz naturel en France (périmètre Kyoto)



Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2021

Graph_1B2b_NG_transmission.xlsx/DistGN

Les émissions du secteur 1B2b sont spécifiques de la France métropolitaine (pas de gaz naturel consommé dans les territoires d'Outre-mer).

Le tableau ci-dessous présente les consommations de gaz en France et la longueur du réseau de transport/distribution. En effet, la donnée d'activité rapportée dans les tables CRF 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
Consommation de gaz naturel (PJ)	1 091	1 240	1 499	1 719	1 786	1 469	1 470
Longueur du réseau de distribution (km)	170 615	177 987	183 383	188 403	193 250	206 997	212 780
Longueur du réseau de transport (km)	32 712	32 712	33 979	36 090	37 301	37 456	37 656

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 (purgas, événements, etc.) dans l'extraction de pétrole sont également reportées dans cette section. Le secteur 1B2c est relatif au périmètre Kyoto.

Les activités d'extraction de pétrole sont marginales en France du fait d'une ressource limitée. Les activités d'extraction de gaz 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/omineia>

3.3.2.2.1 Production, transport, transformation des produits pétroliers et leur distribution (1B2a)

Extraction des combustibles fossiles liquides (1B2a1,2 et 3)

Les émissions de l'exploration et de l'extraction de combustibles fossiles liquides sont faibles et suivent la courbe de production. Elles sont déterminées en utilisant les facteurs d'émission du GIEC (méthode Tier 1).

Le même niveau de méthode est utilisé pour les émissions relatives au transport de pétrole brut. Dans cette catégorie sont comptabilisées les émissions liées au transport de pétrole brut en pipelines et camion-citernes mais également les émissions fugitives de pétrole brut transitant par les terminaux pétroliers. La donnée d'activités de cette catégorie correspond à la quantité de pétrole brut chargée en pipelines, camion-citernes et terminaux pétroliers.

Les émissions issues de cinq types de sources sont considérées :

- Les émissions liées à l'exploration de pétrole brut (EPL) ;
- Les émissions fugitives liées aux fuites des équipements (brides, raccords...) lors de l'extraction, pertes au stockage (FUG) ;
- Les émissions fugitives dues au réseau de transport de pétrole brut par pipelines (PIP) ;
- Les émissions fugitives dues au réseau de transport de pétrole brut par camions et wagons-citernes (CIT) ;
- Les émissions fugitives liées au stockage de brut dans les terminaux pétroliers (BRT).

Les données d'activités et de facteurs d'émission pour chaque type de source sont disponibles dans la base de données OMINEA.

L'exploration de pétrole est une activité encore existante en France. Jusqu'à 2018, un permis de recherche était attribué pour une durée maximale de 5 ans, pouvant être prolongé à deux reprises, chaque fois de cinq ans au maximum. Les différents permis de recherches sont indiqués dans le CPDP [14]. L'Etat n'octroie plus de nouveaux permis de recherche depuis 2018. En effet aucune nouvelle activité de forage n'existe selon le CPDP [14] depuis 2018 (mise à part le forage pour « l'extension-développement »). Cependant, les concessions d'exploitation déjà accordées peuvent être prolongées, mais pas au-delà de 2040.

En outre, même si des permis de recherche off-shore sont accordés, l'extraction de pétrole brut off-shore en France est négligeable. L'activité prise en compte pour la catégorie FUG correspond donc à l'extraction terrestre. Il y a toujours eu moins de 1% de la production nationale de pétrole brut localisée en dehors du Bassin Parisien et de l'Aquitaine.

L'activité de transport par pipeline est fournie par le CPDP chaque année. Celle pour les camions-citernes est déterminée à partir de données d'expert et de la production française [14]. Le pétrole brut importé arrive par bateau dans les terminaux pétroliers, ensuite il est acheminé principalement par pipeline dans les raffineries et le transport en camions et wagons-citernes est exclusif à la production de pétrole brut en France.

La quantité de pétrole brut importé transitant par les terminaux pétroliers est fournie par le CPDP chaque année.

La quantité de pétrole brut transporté ou stocké dans les terminaux est exprimée en Mg qui peuvent être convertis en PJ en utilisant le PCI du pétrole brut (41,868 MJ/kg).

Le torchage et la partie ventilation (« venting ») issue de l'extraction de pétrole sur le site de production sont inclus dans la section « 1B2c ».

Emissions de CO₂, CH₄, N₂O

Exploration de pétrole

L'exploration de pétrole engendre des émissions de CO₂, N₂O et CH₄ 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 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).

Transport de pétrole brut

Les émissions de CO₂ et de CH₄ survenant lors du transport de pétrole brut (PIP, CIT) sont calculées et déterminées à partir des facteurs d'émission par défaut du GIEC [627], de la quantité de pétrole brut transportée par pipeline en France (PIP) et de la production nationale de pétrole brut transportée par camion-citerne (CIT).

Les facteurs d'émission pour le transport par pipeline et camion-citerne étant indiqués en Gg / 1000 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 N₂O.

Extraction de pétrole brut

Pour l'extraction (FUG et VEN), les lignes directrices du GIEC 2006 donnent des facteurs d'émission pour le CH₄ et le CO₂ concernant la ventilation (« venting », VEN) mais seul un facteur d'émission pour le CO₂ est fourni pour les émissions fugitives (FUG). Le ratio CO₂/CH₄ a été calculé à partir des facteurs d'émission de la ventilation (« venting », VEN) et est utilisé pour déterminer le facteur d'émission du CH₄ fugitif (FUG) [627].

	CO ₂	CH ₄	Ratio CH ₄ /CO ₂
Facteur d'émission extraction - VEN (Gg/1000 m ³)	9,5E-05	7,2E-04	7,58E+00
Facteur d'émission extraction - FUG (Gg/1000 m ³)	2,6E-04	1,97E-03	

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

Les facteurs d'émission étant indiqués en Gg / 1000 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 N₂O.

Les émissions qui proviennent du torchage sur le site de production sont incluses en section 1B2c.

Stockage de pétrole brut

Les émissions de CO₂ et de CH₄ 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 CO₂ et du CH₄ est le même que pour l'activité de transport de pétrole brut par pipelines [627] :

	COVNM	CO ₂	Ratio CO ₂ /COVNM	CH ₄	Ratio CH ₄ /COVNM
Facteur d'émission transport pipeline (Gg/1000 m ³)	5,40E-05	4,90E-07	9,07E-03	5,40E-06	1,00E-01
Facteur d'émission du stockage de pétrole brut en 1960 ¹ (g/Mg)	7,44E+00	6,75E-02		7,44E-01	

¹ exemple pour les facteurs d'émission en 1960, ceux-ci évoluent au cours de la série temporelle, mais pas les ratios.

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

Cette activité n'est pas émettrice de N₂O.

Raffinage du pétrole (1B2a4)

Selon les substances, le niveau de méthode utilisée est de Tier 2 ou 3.

Il y a actuellement 9 raffineries déclarant une activité en France dont une située en Martinique (territoire hors PTOM) et une récemment reconvertie en bioraffinerie (site de La Mède).

Les sites de raffinage ont connu des modifications de capacité au cours des années écoulées.

Le site de La Mède a arrêté le traitement du pétrole brut fin 2016 et a été transformé pour créer la première bio-raffinerie française afin de répondre à la demande croissante en biocarburants. La production des biocarburants du site de la Mède a démarré en juillet 2019.

On notera également que 9 raffineries ont fermé dans la période 1980 - 1985 puis dans les années 2000 :

- En 2003, un site a abandonné son activité de raffinage, ne conservant que ses activités pétrochimiques,
- En 2010, la raffinerie des Flandres (Nord) a été arrêtée et reconvertie en dépôt pétrolier. Le démontage des unités a été réalisé jusqu'en 2013 expliquant les faibles consommations énergétiques dédiées aux utilités et déclarées de 2010 à 2013,
- En 2011, la raffinerie de Reichstett (Bas-Rhin) a arrêté son activité,
- En 2012, la raffinerie de Berre (Bouches du Rhône) a été mise en arrêt temporaire pour 2 années dans l'attente d'une reprise de site. 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,

- Enfin, en 2013, la raffinerie de Petit-Couronne (Seine-Maritime) a fermé ses portes. Ce site est en cours de reconversion en entrepôt logistique pour le secteur du e-commerce,
- En 2016, la raffinerie de Dunkerque (SRD) n'a pas fonctionné et a définitivement fermé ses portes en Janvier 2017.

Le niveau d'activité est spécifique du procédé considéré :

- Les quantités de pétrole brut traité [14, 19] servent à estimer les émissions fugitives des procédés,
- La quantité de coke brûlé [19] permet de calculer les émissions liées à la régénération du craqueur catalytique.

Pour les autres procédés, les niveaux d'activités ne sont pas connus. Les émissions sont déterminées à partir des déclarations annuelles de rejets [19]. Les niveaux d'émission aux postes de stockage et d'expédition varient en fonction des techniques mises en œuvre sur le site (type de stockage, technique de chargement, etc.) [48].

Émissions de CO₂

Les émissions de CO₂ sont déterminées au moyen d'un facteur d'émission relatif au coke brûlé.

Les facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19], notamment afin d'assurer la cohérence des données retenues pour l'inventaire avec celles déclarées au titre du SEQE, basées sur des mesures spécifiques.

Lorsque l'exploitant ne fournit pas de facteur spécifique, la moyenne des facteurs d'émission du coke par site ou, en dernier recours, la valeur nationale est appliquée.

Pour les autres procédés (SNAP 010405), les émissions proviennent directement des déclarations annuelles d'émissions [19].

Émissions de CH₄

Des émissions de CH₄ sont recensées au niveau de la régénération du craqueur catalytique. Les facteurs spécifiques et les mesures déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19]. Lorsque l'exploitant ne fournit pas de données, les émissions sont estimées à partir d'un facteur d'émission moyen basé sur les déclarations annuelles de rejets [19] (craqueur catalytique avec chaudière à CO).

Pour le site ne possédant pas de chaudière à CO avant 2013, le facteur d'émission associé est environ 120 fois plus élevé. Depuis 2013, les émissions ont été réduites suite à l'installation de cette technologie.

Émissions de N₂O

Des émissions de N₂O sont recensées au niveau de la régénération du craqueur catalytique. Les facteurs spécifiques et les mesures déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19]. Lorsque l'exploitant ne fournit pas de données, les émissions sont estimées à partir d'un facteur d'émission moyen basé sur les déclarations annuelles de rejets [19] (craqueur catalytique avec chaudière à CO).

Le facteur d'émission est environ 18 fois plus élevé pour le site non équipé d'une chaudière à CO avant 2013.

3.3.2.2.2 Extraction et distribution du gaz naturel (1B2b)

Extraction et traitement du gaz naturel (1B2b3)

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 CO₂ et de CH₄

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 ratio équivalent de production / émissions au site de Lacq. À 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 (1B2b4 et 1B2b5)

Pour cette section, le niveau de méthode utilisé est de rang 2.

Émissions du réseau de distribution (1B2b5)

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 (1B2b5)

Les émissions de CH₄ liées au réseau de transport proviennent des opérations de décompression des gazoducs lors des travaux sur le réseau (maintenance, exploitation, etc.) ainsi que des fuites liées à la conception et aux conditions d'exploitation de certains types d'équipements et des rejets liés au fonctionnement des soupapes de sécurité. Deux opérateurs partagent le réseau de transport : GRTgaz (filiale de ENGIE et représentant 86% du kilométrage en 2015) et Terega (ex-TIGF).

GRTgaz [334] transmet annuellement les émissions de son réseau depuis 2004. Avant cette date, les émissions du réseau GRTgaz sont considérées constantes hormis pour les micro-fuites résiduelles calculées au prorata du nombre de postes réseau.

Terega transmet annuellement les émissions de méthane depuis 2006. Avant cette date les émissions sont supposées constantes.

Émissions des sites de stockage (1B2b4)

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'équipements (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 GERE pour les installations de Storengy ou communiquées annuellement par Terega [19, 629]. Avant cette date, les émissions sont considérées constantes.

Émissions des terminaux méthaniers (1B2b4)

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 GERE pour les installations de Elengy (filiale de ENGIE) [19]. Avant cette date, les émissions sont considérées constantes.

Émissions des stations de compression (1B2b4)

Les émissions des stations de compression sont issues des fuites des équipements, des rejets ponctuels lors d'opérations de maintenance et/ou de travaux sur les installations de compression, ou des émissions lors de la mise en sécurité du site.

Depuis 2006, ces émissions sont communiquées annuellement par GRTgaz ((filiale de ENGIE) et Terega (ex-TIGF) [1075, 629]. Avant cette date, les émissions sont considérées constantes hormis pour les micro-fuites de GRTgaz calculées au prorata du nombre de compresseurs.

Émissions de CO₂ et de CH₄

Émissions du réseau de distribution (1B2b5)

Les émissions de CH₄ 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] :

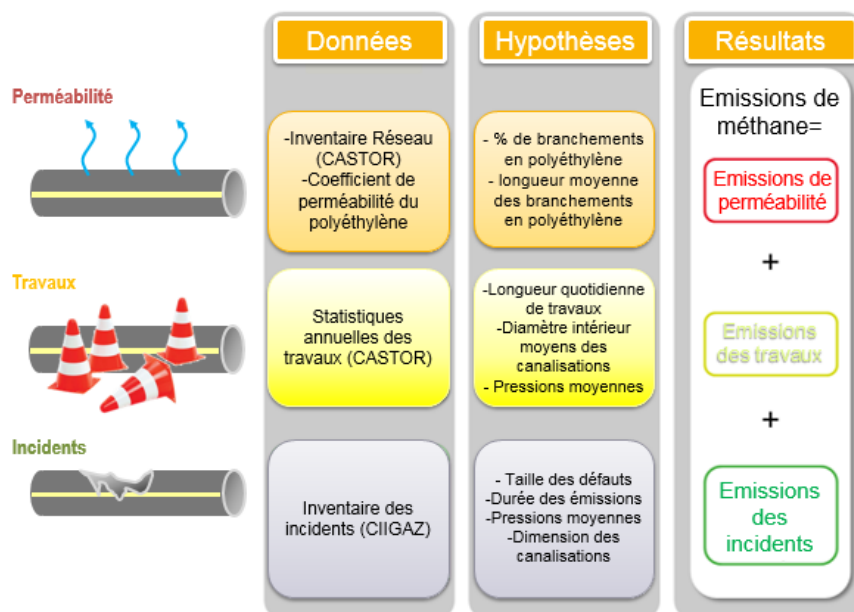
- Emissions liées à la perméabilité : du fait des conditions de pression, le gaz naturel traverse par un processus de "dissolution-diffusion" les films polymères denses du polyéthylène.
- Emissions dues aux travaux : lors des actes d'allongement, de réfection, ... du réseau, il est nécessaire de purger 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 méthane de chaque événement 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 méthane par type d'incidents à l'aide d'équations de mécanique des fluides. Néanmoins, pour les événements 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 événement, quel que soit son importance, dans une base de données, que ce dernier soit repéré lors d'une tournée systématique ou signalé par des équipes GRDF ou des tiers.

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



Les émissions de CH₄ ainsi obtenues par GRDF sont ensuite extrapolées à l'ensemble du réseau de distribution (le réseau de transport et distribution GRDF constituant plus de 95% du total).

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 CO₂ sont ensuite déterminées à partir de la composition moyenne du gaz naturel consommé en France et des émissions de CH₄. 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.

	Composition moyenne du gaz naturel (en masse)			
	1990	2000	2010	2020
CH ₄	83,8%	85,6%	85,1%	88,5%
CO ₂	0,9%	0,9%	1,0%	0,9%
Ratio CO ₂ /CH ₄	0,011	0,010	0,012	0,010

Émissions du réseau de transport (1B2b5)

Les émissions de CH₄ du réseau de transport sont transmises annuellement par les deux opérateurs nationaux GRTgaz et TIGF.

GRTgaz estime les émissions de méthane 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, non fermeture) : à chacun des défauts est associée 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, la pression utilisée 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 comptabilisés 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 brûlé.

- **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 14% du kilométrage de réseau de transport en 2015) estime les émissions de méthane 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 diffuses unitaires différents (en tonne CH₄/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 CH₄/poste).

Émissions des sites de stockage, de compression et terminaux méthaniers (1B2b4)

Les émissions lors du stockage, de la regazéification du GNL ou sur les sites de compression de gaz naturel sont déterminées séparément à partir des communications annuelles avec les exploitants pour GRT [1075] et Terega [629], et des déclarations annuelles pour GRDF et d'autres exploitants [19].

Les fuites des sites de stockage, de compression ou des terminaux méthaniers sont agrégées avec les émissions du réseau de transport.

Les facteurs d'émission sont déduits en rapportant les émissions à la consommation intérieure annuelle de gaz naturel.

Il est également possible de rapporter ces émissions à la longueur totale du réseau.

Malgré l'augmentation constante de la longueur des réseaux de transport et de distribution, les émissions ont diminué en raison des efforts de sécurisation et de maintenance se traduisant par une diminution des incidents, une meilleure détection des fuites et une meilleure maîtrise des émissions.

3.3.2.2.3 Torchères et Ventilation (1B2c)

Torchères et ventilation dans l'extraction de gaz et de pétrole (1B2c)

Le niveau de méthode est de rang 1 (pour l'extraction de pétrole), 2 (pour l'extraction de gaz, les stations de compression et terminaux méthaniers) 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. À 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 m³ dans les lignes directrices du GIEC 2006, ils peuvent être convertis en kg/PJ à partir de la masse volumique (0,86 tonne/m³) et du PCI (42 MJ/kg) du pétrole brut. Les résultats des conversions sont les suivants :

FE pétrole	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	kt/1000m ³	kg/PJ	kt/1000m ³	kg/PJ	kt/1000m ³	kg/PJ
Ventilation	9,5E-05	2 631	7,2E-04	19 942	NA	NA
Torchères	4,1E-02	1,1E06	2,5E-05	692,1	6,4E-07	17,73

À ces émissions issues des torches de l'extraction de pétrole s'ajoutent les émissions des torches des raffineries.

Extraction du gaz

Jusqu'en 2014, 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.

À partir de 2014, le site de Lacq étant fermé, la méthodologie mise en place consiste en l'estimation d'un facteur moyen d'émission pour chacun des gaz à effet de serre 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 CO₂

Les émissions de CO₂ 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 CH₄

Selon les informations disponibles, les émissions de CH₄ 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 N₂O

Selon les informations disponibles, les émissions de N₂O sont déterminées :

- à partir des déclarations annuelles d'émissions de chaque raffinerie [19],
- à partir d'un facteur d'émission moyen spécifique à chaque raffinerie basé sur les données des années récentes,
- à partir d'un facteur d'émission moyen calculé à partir de toutes les raffineries métropolitaines, pour les raffineries ne disposant d'aucune donnée sur l'ensemble de la série.

3.3.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 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 3^{ème} 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) tenant compte l'avis des experts sectoriels. La valeur de cette incertitude est de 10%.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission de CO₂ 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 CH₄ et de N₂O sont de 100%. Pour le CH₄, 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 N₂O, les lignes directrices 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 CH₄ et le N₂O sont plus élevées, car elles reflètent l'utilisation de facteurs par défaut.

La grande majorité des données provenant directement des industriels concernés depuis le début de la période considérée, après vérification par l'administration, la cohérence temporelle est assurée.

3.3.2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Des dispositions spécifiques sont prises pour ce sous-secteur :

- Participation de l'industrie : les données concernant les activités sont directement demandées aux industries pétrolières et gazéifères permettant ainsi de couvrir toutes les sources. Un recoupement du périmètre est aussi réalisé avec la publication du CPDP qui couvre ces activités.
- Pour la distribution et le transport de gaz naturel, un projet de Convention entre le Citepa, le MTE, GrDF, GRTgaz et TIGF est en cours de réalisation afin que les données nécessaires à l'inventaire soient transmises chaque année au Citepa s'accompagnant d'une note explicative sur les éventuelles évolutions des émissions entre deux éditions et d'une note détaillée décrivant les éventuelles évolutions méthodologiques.
- Utilisation de mesures directes : les émissions obtenues par mesure dans les déclarations annuelles des exploitants sont vérifiées par les autorités locales (DREAL) qui s'assurent de la bonne application des méthodes standards de mesures reconnues. Elles sont ensuite validées par le Ministère chargé de l'Ecologie (MTE). De plus dans le cadre du SEQUE les émissions de CO₂ 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 CH₄ et N₂O : 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 CO₂ qui est dans tous les cas conservés afin d'assurer la cohérence avec le SEQUE.

3.3.2.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRF 1B2

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	6 189	6 069	5 836	5 471	5 812	6 102	6 379	6 093	5 743	5 439	4 829	4 507	4 279	4 154	4 187	4 036	4 079	3 593	0
Nouveau	kt CO ₂ e	6 189	6 069	5 836	5 471	5 812	6 102	6 379	6 093	5 743	5 439	4 829	4 508	4 279	4 154	4 187	4 036	4 079	3 593	3 180
Différence	kt CO ₂ e	+0,025	+0,045	+0,057	+0,11	+0,10	+0,054	+0,054	+0,17	0	0	0	+1,3	0	+0,0000	0	0	0	0	+3 180
	%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	0%	0%	0%	+0%	-0%	+0%	0%	0%	+0%	0%	-

Source Citepa / janvier_2022

Rapport_CRF.xlsm / 1.B.2

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

Les impacts proviennent des recalculs du CRF 1B2c (cf. ci-dessous).

3.3.2.5.1 Torchères et Ventilation (1B2c)

1.B.2.c.2.ii Flaring - Gas

Description des recalculs

Mise à jour des émissions de CH₄ et N₂O pour certaines stations de compression menant à une modification des facteurs d'émission moyens et des émissions de ces composés.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude.

3.3.2.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration envisagée.

3.4 Transport et stockage de CO₂ (CRF 1C)

3.4.1 Injection et stockage (CRF 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 chaîne complète de captage-stockage-transport du CO₂ (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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
Energy	1.C.2 Injection and storage - gaseous fuels - CO2 (E.29, 2019) Comparability	Report the notation key "IE" for CO2 emissions from injection for the years in which injection was occurring but emissions were reported under category 1.A.2.b (natural gas) (i.e. from 2010 to 2013) and the notation key "NO" for the years in which injection was not occurring. The ERT also recommends that the Party report "NA" for CO2 emissions from storage for the years in which injection occurred but CO2 emissions were not detected from the storage site and continue to report "NA" for as long as the measurement campaign is under way, and that it report "NO" for CO2 emissions from storage for the year prior to injection taking place.	During the review, the Party clarified that the data exchanges between the French national inventory and the CRF Reporter system does not support different notation keys in the same time series. This is the reason why "IE" is reported for the entire time series. The detailed explanation on the plant operation and correct notation keys are reported in the documentation box in CRF 1.C. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed and reiterates the recommendation from the previous review report.	2021 Review PMF* / E.20	Implemented. Corrected NKs depending of the years are submitted in the March 15th 2022 submission.

3.4.1.7 Améliorations envisagées

Aucune amélioration envisagée.

4 PROCÉDES INDUSTRIELS (CRF 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, SF₆ et NF₃ 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 58 : Émissions de gaz à effet de serre des PROCÉDES INDUSTRIELS (périmètre Kyoto)

PROCÉDES INDUSTRIELS (périmètre Kyoto)			Secteurs-d.xlsx	
Polluants	1990		2020	
	Emissions en CO ₂ eq (kt)	% du total national hors UTCATF	Emissions en CO ₂ eq (kt)	% du total national hors UTCATF
CO ₂	42 902	10,8%	26 756	9,2%
CH ₄	220	0,3%	57	0,1%
N ₂ O	23 831	36,8%	742	2,0%
HFC	4 402	100,0%	11 735	100,0%
PFC	5 202	100,0%	543	100,0%
SF ₆	2 155	100,0%	347	100,0%
NF ₃	16	100,0%	9	100,0%
CO ₂ e	78 729	14,5%	40 189	10,2%

Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

En 2020, au périmètre France Kyoto et hors UTCATF, la catégorie 2 relative aux procédés industriels est :

- le second émetteur de CO₂ après l'énergie (CRF 1) avec 9,2 % des émissions nationales ;
- le troisième contributeur aux émissions de N₂O avec 2,0 %, très loin derrière l'agriculture (premier contributeur) du fait de la baisse très importante des émissions de N₂O depuis 1990 ;
- la seule catégorie émettrice de HFC, PFC, NF₃ et SF₆ ;
- le quatrième contributeur aux émissions de CH₄ avec seulement 0,1 %, très loin derrière le premier contributeur : l'agriculture.

4.2 Produits minéraux (CRF 2A)

4.2.1 Caractéristiques de la catégorie

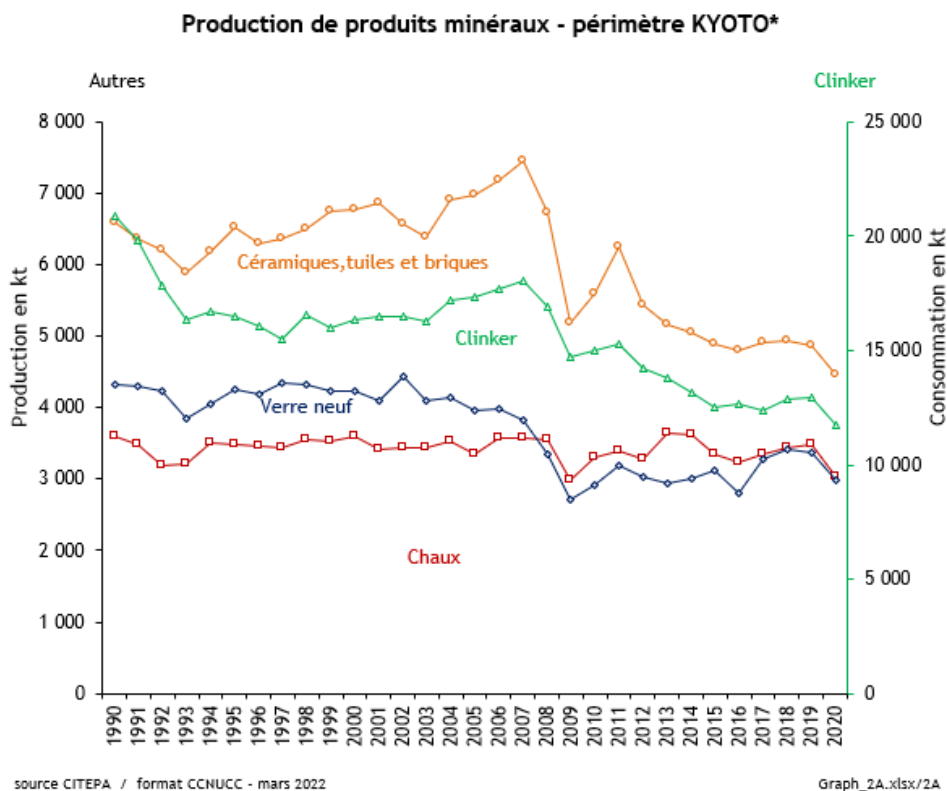
Cette catégorie n'est émettrice que d'émissions de CO₂. Le phénomène de décarbonatation est à l'origine de la majorité des émissions du fait de plusieurs secteurs d'activités :

- production de ciment (CRF 2A1),
- production de chaux (CRF 2A2) (chaux aérienne, magnésienne, hydraulique et auto-producteurs de chaux dans le secteur du raffinage des betteraves dans les sucreries),
- production de verre (CRF 2A3),
- production de céramique et de tuiles et briques (CRF 2A4-a),
- autres utilisations de carbonates de sodium (CRF 2A4-b),
- autres utilisations (CRF 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 comptabilisés en 1A, utilisation de dolomie pour produire du magnésium comptabilisée en 2C4, 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 Kyoto) depuis 1990.

Figure 78 : Productions des principaux produits minéraux en France (périmètre Kyoto) depuis 1990



* Le périmètre KYOTO correspond aussi au périmètre France entière.

Production de verre neuf = production totale de verre déduite de la quantité de calcin externe introduit dans les fours.

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 et pour certains secteurs, 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. Les productions de clinker et de chaux ont progressé entre 2017 et 2019, alors que les productions de céramiques, tuiles, briques et de verre neuf se sont 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% pour le sous-secteur des céramiques/tuiles et briques à -13% pour la chaux).

Les substances pour lesquelles les sous-secteurs appartenant au secteur 2A sont sources clés en 2020 sont les suivantes :

Tableau 59 : Substances pour lesquelles le secteur 2A est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
2A1 Ciment Production	CO ₂	17 ^{ème}	1,6 %	29 ^{ème}	0,8 %
2A2 Lime Production	CO ₂	34 ^{ème}	0,5 %	-	-

4.2.1.1 Ciment décarbonatation (2A1)

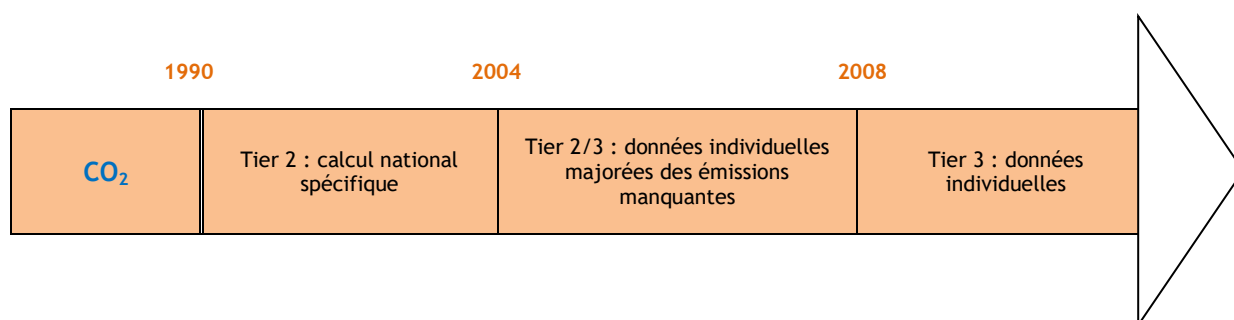
La production de clinker évolue depuis 1990 en fonction du marché. Quelques fermetures de sites au début des années 1990 ont entraîné une baisse de 21 % de la production entre 1990 et 1993.

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 a baissé de 9% par rapport à l'année 2019.

En 2020, 25 cimenteries classiques assurent la majeure partie de la production et 3 sites fabriquent des ciments aluminates (environ 4,1 % de la production nationale). Ces 28 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 CO₂

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.

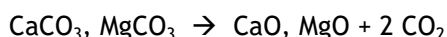
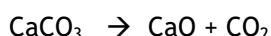
Entre l'année 2004, année des premières déclarations détaillées et l'année 2008, première année de la 2^{ème} période du système d'échange des quotas d'émissions (SEQUE), le périmètre des émissions déclarées par les industriels a évolué. Depuis 2008, les cimenteries déclarent tout ou partie des émissions 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 CO₂ 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 CO₂ 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 :



Le GIEC [613], dans son niveau 1, recommande de calculer le CO₂ 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 MgCO₃. D'après la profession cimentière [239], le clinker contient environ 2 % de MgO.

Depuis 2004, les émissions de décarbonatation déterminées au niveau national sont cohérentes avec les données d'émissions relatives à la décarbonatation des cimenteries couvertes par le système d'échanges de quotas de gaz à effet de serre (SEQUE). 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 CO₂ / t clinker [348-annexe VI]. Depuis la mise en place du SEQE, la plupart des cimenteries ont mis en œuvre des niveaux élevés quant à la méthode de détermination des émissions et, de ce fait réalisent des mesures de la teneur en carbone dans leurs matières premières et disposent de 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 aluminaté** 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 dolomiques 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 CO₂ 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**. La chaux hydraulique est 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.

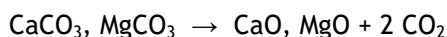
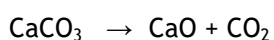
Il y a actuellement très peu de sites de production de chaux hydraulique en France métropolitaine : les trois sites les plus importants soumis au système déclaratif annuel des rejets (quatre sites avant 2013) et deux autres plus petits sites.

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 du **raffinage en sucrerie** (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]. Toutefois, une partie de la quantité de CaCO_3 se retrouve dans les écumes de sucrerie (ensuite réutilisées en agriculture comme amendement minéral basique). De manière conservatoire, un rendement de 80 % de récupération des carbonates, pour estimer la quantité de CO_2 émise au niveau du site, est retenu, i.e. une émission nette de CO_2 venant de la décarbonatation est affectée dans ce poste 2A2, correspondant à 20 % des carbonates utilisés dans le process.

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 :



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 (-16 % 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. Les années 2017 et 2018 augurent d'une reprise dans l'activité du secteur, confirmée en 2019. La pandémie de la Covid-19 de 2020 est venue stopper cet élan, avec une baisse de la production de 13% par rapport à 2019. Ce secteur connaît donc de fortes variations de production au cours du temps.

En 2020, 17 sites se répartissent la production de chaux aérienne et magnésienne et 5 la production de chaux hydraulique, soit un total de 22 sites qui sont uniquement présents en France métropolitaine. Au cours de la décennie 1990, une dizaine de sites a fermé.

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 production de verre n'est pas une catégorie clé en 2020.

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 gobeletterie et les bocaliers. Le verre creux avec 31 sites en activité, est le poste le plus important dans la fabrication de verre puisqu'il représente plus de 60 % de la production totale de verre en poids.
- la production de fibres de verre (en particulier laine de verre et fils de verre) (SNAP 030316) compte 9 sites en activité.
- la production de verre technique (SNAP 030317) qui regroupe en particulier, la lunetterie et l'optique, les ampoules, le verre pour télévision et radio, le verre de laboratoire, les isolateurs, compte 5 sites en activité.
- la production de fibre minérale (laine de roche) (SNAP 030318), 4 sites sont en activité.

Les sites de production de verre ne sont présents qu'en France métropolitaine.

Les sources de données relatives à la production qui ont été utilisées sont les suivantes :

- **Verre plat (030314)** : de 1990 à 2010, les données proviennent des statistiques du SESSI/INSEE [53]. Les statistiques de l'INSEE ne sont plus disponibles depuis 2011. Pour pallier ce problème, une production est estimée sur la base des déclarations individuelles des industriels [19] de l'année en cours et d'un ratio entre le total des déclarations individuelles et la donnée des statistiques relatives à l'année 2011.
- **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.
- **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.
- **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.
- **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.

En 2020, la production de verre « neuf », provient d'une cinquantaine de sites situés en France métropolitaine (31 sites de production de verre creux, 5 sites de production de verre technique, 6 sites de production de verre plat, 9 sites de production de fibres de verre et 4 sites de production de laine de roche).

Sur la période, la production de verre neuf a connu de légères fluctuations entre 1990 et 2007 avec un pic observé en 2002. Depuis, la production de verre neuf ne cesse de baisser pour atteindre son niveau le plus bas en 2009. De fortes variations s'observent sur la période 2010-2016, le niveau en 2016 est sensiblement identique à celui en 2009. La production est repartie à la hausse en 2017, pour se stabiliser en 2018 et 2019. Le niveau de production observé en 2018 est le plus haut depuis 2008, montrant un retour au niveau de production pré-crise. En 2020, année marquée par la pandémie de la Covid-19 et par plusieurs confinements en France, la production de verre baisse de 11% par rapport à 2019, pour revenir à un niveau similaire à celui observé en 2009.

Des émissions de CO₂ sont comptabilisées pour le verre plat, creux, technique, la fibre de verre et la laine de roche.

La méthodologie mise en œuvre pour estimer les émissions de CO₂ est de rang GIEC 2 ou 3 selon les années.

4.2.1.4 Autres procédés utilisant des carbonates (2A4)

En 2018, pour la France au périmètre Kyoto hors UTCATF, les autres procédés utilisant des carbonates ne sont pas une source clé.

Tuiles et briques/céramique décarbonatation (2A4-a)

En 2020, la production de tuiles et briques est assurée par environ 130 sites (dont 1 en Outre-mer - périmètre Kyoto).

Par ailleurs, en 2020, la production de céramique est assurée par environ 80 sites de production.

La production de tuiles et briques/céramiques a connu de nombreuses fluctuations depuis 1990 avec un niveau relativement élevé entre 2003 et 2007 (pic en 2007). Entre 2007 et 2009, la production a fortement diminué et cette baisse représente 30 % entre 2007 et 2009. Bien qu'une reprise de l'activité se soit fait ressentir en 2010 et 2011 avec une augmentation de 20 % entre 2009 et 2011, une nouvelle baisse est ressentie depuis 2012. Le niveau en 2016 est le plus bas observé depuis 1990. Une légère reprise est observée en 2017, avec une stabilisation en 2018 et 2019. La pandémie de la Covid-19, qui a notamment causé plusieurs confinements en France en 2020, a entraîné une baisse de la production de 8% par rapport à 2019.

La méthodologie mise en œuvre pour estimer les émissions de CO₂ 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 CO₂.

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 médicaux.

Autres utilisations de calcaire (2A4-d)

Afin d'assurer l'exhaustivité dans la prise en compte des émissions de CO₂ 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 CO₂ sont donc prises en compte pour chacun de ces secteurs utilisateurs, soit dans ce code CRF, soit dans un autre code CRF 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 (CRF 2C7)
- émail (CRF 2A4d)
- papier (CRF 2H1)
- technique de désulfuration sur certaines usines de chauffage urbain et centrales thermiques (CRF 2G4)
- utilisation d'urée par les systèmes de traitement des NO_x (déNO_x) de type SCR (réduction sélective catalytique) par certaines centrales thermiques (CRF 2D3d)
- dolomie pour produire du magnésium (CRF 2C7)
- matières carbonées utilisées sur certains sites chimiques (CRF 2B10)
- sidérurgie - castine en agglomération (CRF 2C1a) et sidérurgie - utilisation de carbonates dans les aciéries électriques (CRF 2C1f)
- installation de métaux non ferreux (production de zinc) (CRF 2C6)
- installation silicium et ferro-silicium (CRF 2C7)
- verrerie (CRF 2A3)
- chaux (CRF 2A2)
- ciment (CRF 2A1)
- tuiles/briques (CRF 2A4a)
- céramique (CRF 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 CO₂ 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 CO₂ du code CRF 2A4-d est de rang GIEC 3 et de rang GIEC 1 pour le code CRF 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/fr/omine/>

Les seules émissions induites dans ce secteur CRF 2A sont celles relatives au CO₂.

4.2.2.1 Ciment décarbonatation (2A1)

Emissions de CO₂

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 CO₂ est déterminé, d'une part, pour la production de ciment aluminé et, d'autre part, pour la production des autres types de ciments.

Particularités

Suite à 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 CO₂ 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 aluminé

Les sites de production de ciment aluminé n'existent qu'en France métropolitaine et ils sont au nombre de trois. Toutefois, compte tenu des matières premières utilisées, les trois sites sont à l'origine d'émissions induites par la décarbonatation dont l'un avec des émissions très faibles (inférieures à 300 t).

En 2020, la production de ciment aluminé représente moins de 5 % de la production nationale de clinker.

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

Tableau 60 : production de clinker aluminé (uniquement en France métropolitaine) en kt

Production de clinker aluminé (kt)							
1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
626	494	490	505	545	513	479	481
2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
498	475	531	578	590	548	480	

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 aluminé qui représente entre 3 % et 4 % de la production nationale de clinker (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 aluminé 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, au nombre de 29, n'existent qu'en France métropolitaine.

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

Tableau 61 : 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
20 228	15 971	15 833	16 824	14 437	14 771	13 718	13 299
2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
12 645	12 066	12 138	11 779	12 255	12 388	11 291	

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 CO₂ 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 CO₂ 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 62 : Méthodes mises en œuvre pour le calcul des émissions de CO₂ du secteur de la production de ciment

	Ciment aluminaté	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 aluminaté	Utilisation du facteur d'émission 525 kg/t clinker majoré des poussières by-pass et de la farine crue appliquée 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 de by-pass)	Utilisation des émissions issues des déclarations individuelles des industriels (quotas) majorées des émissions des poussières de by-pass et 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 63 : Part des différentes sources d'émission dans le facteur d'émission induit du CO₂ pour la décarbonatation dans le secteur du ciment

	Avant 2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
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	98,3	98,0	98,0	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	1,7	2,0	2,0	1,7

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 CO₂ proviennent des données des industriels [19, 195].

Les émissions de CO₂ 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 SEQUE propose deux méthodes de calcul pour estimer les émissions de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ liées aux poussières de by-pass sont exhaustives pour la chaux hydraulique sur toute la série temporelle.

Les méthodes de calcul des émissions de CO₂ 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.

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 CO₂ pour le secteur de la production de chaux hydraulique proviennent, d'une part, des données de CO₂ 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.

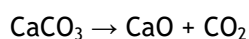
Depuis 2005, les émissions de CO₂ pour le secteur de la production de chaux hydraulique ne proviennent que des déclarations annuelles des industriels [19] ou des données communiquées par les sites [195].

Part de la production de chaux hydraulique dans la production nationale (%)							
1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
3,8	4,5	5,2	5,9	5,3	4,9	5,0	4,8
2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
4,8	4,9	5,1	4,6	5,3	4,8	5,2	

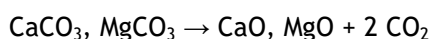
A2. Autres types de chaux (hors chaux hydraulique)

Cette section concerne la chaux aérienne ainsi que la chaux magnésienne.

Le facteur d'émission de CO₂ est déterminé à partir de la réaction chimique :



Le facteur d'émission pour la chaux calcique communiqué par la profession est de 785 kg CO₂ / 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].



Le facteur d'émission pour la chaux dolomique est de 913 kg CO₂ / t chaux dolomique [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 (SEQUE) sont prises en compte [19].

De plus, des émissions de CO₂ 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 SEQUE, deux méthodes de calcul sont possibles pour estimer les émissions de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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.

1990	2000	2001	2002	2003	aujourd'hui
Niveau GIEC Tier 1	Niveau GIEC Tier 2/3	Niveau GIEC Tier 2/3	Niveau GIEC Tier 2/3	Niveau GIEC Tier 2/3	Niveau GIEC Tier 2/3
<p>P1 = Emissions CO₂ chaux = production nationale de chaux aérienne x 785 kg/t + production nationale de chaux magnésienne x 913 kg/t (valeurs stœchiométriques [614])</p> <p>P2 = Emissions poussières de by-pass = P1 x 0,2 %</p> <p>P3 = émissions CO₂ chaux totales = P1 + P2</p>	<p>P1 = Emissions CO₂ chaux = Emissions CO₂ 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</p> <p>P2 = Emissions poussières de by-pass = P1 x 0,2 %</p> <p>P3 = émissions CO₂ chaux totales = P1 + P2</p>	<p>P1 = Emissions CO₂ chaux = Emissions CO₂ des déclarations annuelles [19] + (production nationale chaux aérienne et magnésienne - production des sites utilisés en approche individuelle) x facteur d'émission moyen déterminé par année à partir des données déclarées</p> <p>P2 = Emissions poussières de by-pass = P1 x 0,2 % (uniquement de 2003 à 2012)</p> <p>P3 = émissions CO₂ chaux totales = P1 + P2</p>			

De 1990 à 2000, les émissions de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ pour la production de chaux aérienne et magnésienne (en kg/t chaux)

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
FE CO ₂ (kg/t chaux aérienne et magnésienne)	790	792	792	769	742	748	742	738	731	730	716	729	739	719	719

Part de la production de chaux vive dans la production nationale (%)							
1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
88,7	87,9	87,2	86,6	86,4	86,0	86,5	87,1
2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
86,1	86,6	86,0	83,5	85,4	85,8	87,0	

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 64 : 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	22	0	22

➤ Pour les auto-producteurs de chaux en sucrerie

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 :

$$\text{Quantité de chaux produite (CaO) (t)} = R1 \times R2 / 100 \times (\text{masse molaire CaO} / \text{masse molaire CaCO}_3) \times \text{quantité de betteraves produite brute (t)} / 1000$$

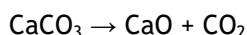
soit

Quantité de chaux produite (CaO) (t) = $R1 \times R2 / 100 \times (56,1/100,1) \times \text{quantité de betteraves produite brute (t)} / 1000$

Avec :

- $R1 = 18 \text{ kg roche calcaire/ tonne betterave [527]}$,
- $R2 = 98 \text{ CaCO}_3/\text{roche calcaire}$ (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 :



Toutefois, un rendement conservatif de 80 % de récupération des carbonates dans les écumes des sucreries est retenu sur toute la période afin d'estimer la quantité de CO_2 émis (valeur moyenne de la quantité d'écume en sucrerie sur la production de betterave brute sur la période 2006-2016). Ce rendement est déterminé à partir des estimations de la quantité de roche calcaire utilisée en sucrerie communiquées par le SNFS [527] et les statistiques relatives aux écumes de sucreries fournies par l'ANPEA [332].

Le facteur d'émission est donc déterminé à l'aide de la formule suivante :

$\text{FE CO}_2 \text{ (kg/t chaux)} = \text{masse molaire CO}_2 / \text{masse molaire CaCO}_3 \times 1000 \times (1 - 80/100)$

soit un facteur d'émission de **156,9 kg CO_2 /t chaux produite en sucrerie**.

Les émissions relatives à la production de chaux pour le raffinage des betteraves en sucrerie ne représentent qu'environ 2 % des émissions totales de ce secteur, selon les années.

Part de la production de chaux produite en sucreries dans la production nationale (%)							
1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
7,5	7,5	7,7	7,5	8,3	9,1	8,5	8,0
2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
9,1	8,5	9,0	11,8	9,4	9,5	7,8	

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 CO₂ 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 :

$$\text{Production de verre neuf} = \text{production de verre totale} - \text{quantité de calcin externe utilisée}$$

Les sources de données de production nationale par type de verre produit sont décrites ci-dessus.

La quantité de calcin externe utilisée est fournie annuellement par la Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du Verre [457].

Le facteur d'émission établi à partir de données de la profession est de 185 kg CO₂/ 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 CO₂ de la décarbonatation a une provenance chimique et il provient de la transformation du calcaire (CaCO₃) en CO₂ et en chaux (CaO) selon la réaction chimique :



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 SEQUE-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 SEQUE-UE et le calcul effectué avec le facteur d'émission communiqué par la profession [242].

Céramique décarbonatation

Le CO₂ lié à la décarbonatation a une provenance chimique et il provient de la transformation du calcaire (CaCO₃) en CO₂ et en chaux (CaO) selon la réaction chimique :



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 médicaux.

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.

Les émissions de CO₂ 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 CO₂ 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 2^{ème} 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]. Tenant compte que ce secteur est contraint par des quotas, avec les données des activités bien suivies par conséquent, cette valeur est en cohérence aussi avec les gammes d'incertitudes des quotas de l'annexe 2 du règlement 601-2012.

L'incertitude sur les facteurs d'émission de CO₂ 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.

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 SEQUE, les émissions de CO₂ sont vérifiées par un organisme agréé avant d'être transmises aux autorités (la plupart des émissions de CO₂ du CRF 2A sont couvertes par le SEQUE).

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 CO₂/t clinker. Les facteurs d'émission de CO₂ recalculés sont compris entre 525 et 530 kg CO₂/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 CO₂/t chaux. Les facteurs d'émission de CO₂ recalculés (hors auto-producteur de chaux en sucrerie) sont compris entre 740 et 830 kg CO₂/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 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 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 CO₂/t verre neuf. Les facteurs d'émission de CO₂ recalculés sont compris entre 185 et 200 kg CO₂/t verre neuf donc ces valeurs sont cohérentes avec la valeur par défaut du GIEC.

4.2.5 Recalculs

Impact des recalculs du CRF 2A

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	14 977	12 467	12 376	12 654	13 015	13 161	12 401	10 588	11 059	11 379	10 635	10 663	10 281	9 727	9 636	9 556	9 981	10 097	0
Nouveau	kt CO ₂ e	14 977	12 467	12 376	12 654	13 015	13 161	12 401	10 588	11 059	11 379	10 635	10 663	10 281	9 728	9 636	9 557	9 982	10 061	9 083
Différence	kt CO ₂ e	+0,14	+0,14	+0,14	+0,14	+0,14	+0,14	+0,18	+0,20	+0,23	+0,17	+0,34	+0,30	+0,24	+0,20	+0,42	+1,2	+0,88	-36	+9 083
	%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	-0%	-

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

Pour le secteur 2A, les recalculs concernent plusieurs secteurs.

4.2.5.1 Ciment décarbonatation (2A1)

Description du recalcul

Mise à jour de la production d'un site pour l'année 2019.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude.

4.2.5.2 Chaux décarbonatation (2A2)

Description du recalcul

- Mise à jour du calcul des émissions de décarbonatation pour 2 sites pour la période 2017-2019 + correction du calcul des émissions de décarbonatation pour la chaux aérienne pour l'année 2019 ;
- Mise à jour de la production en écumes de sucreries et des émissions de décarbonatation associées sur 2017-2019.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude.

4.2.5.3 Verre décarbonatation (2A3)

Description du recalcul

- Mise à jour des productions 2019 pour 5 sites ;
- Mise à jour des émissions de décarbonatation pour un site pour 2019 ;
- Correction d'une erreur de calcul des émissions de décarbonatation pour l'année 2019.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude.

4.2.5.4 Céramique décarbonatation (2A4a)

Description du recalcul

Mise à jour de la production pour plusieurs sites pour les années 2017 à 2019.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude.

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

Description du recalcul

La différence est due à la mise à jour sur toute la série temporelle de la consommation de carbonate de sodium ou bicarbonate de sodium du secteur "autre décarbonatation".

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude.

4.2.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report/ paragraph	MS response / status of implementation
IPPU	2. General (IPPU) (I.2, 2019), (I.2, 2017) (I.17, 2016) (I.17, 2015) Transparency	If different data sources and methodologies/tiers are used for different periods (e.g. production of lime, ammonia, nitric acid, and iron and steel), provide explanations for such inter-annual changes, where applicable, including	The Party reported in its NIR chapter 4 (CRF2) for all key categories, and others, how AD, methodologies and tiers are applied when breaks in data sources have occurred. The QA/QC section of each category also contains information on how time series consistency is checked.	2021 Review PMF* / I.1	Implemented. Regarding lime CO2 emissions, explanations / information on the issue of consistency of the different methods/data sources used for the time series since 1990 have been implemented in the

		information on how the consistency of the time series is ensured when different data sources or methodologies are used to estimate emissions for different periods of time.	The ERT considers that the recommendation has been addressed, but invites the Party to provide more background information and analysis on observed times series trends of emission factors and emissions, currently the NIR includes this only for AD.		NIR 2020. Concerning ammonia production, the NIR 2022 includes explanations on this issue and the current reporting.
IPPU	2.A.2 Lime production - CO2 (I.22, 2019) Transparency	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 regarding data provided by the cement producers federation, and the reasons for any change in the CO2 EF between 2016 and 2017.	The Party reported in its 2021 NIR (p. 283-284,) on the sources of AD for 2.A.2. The QA/QC procedures for the AD are explained in the 2021 NIR (p.300). Furthermore, in its 2020 NIR (p. 289), France reports a recalculation of AD, affecting also the IEFs for 2016 and 2017. However, the AD shares reported in the NIR for the different lime types do not sum up to 100 per cent. During the review, the Party clarified that the reported shares were not correct, but that the emissions are not affected by this since they are determined in a bottom-up manner. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not reported correct AD (shares).	2021 Review PMF* / I.10	Implemented. The recommendation's features have been included in the NIR submission 2020. Figures of the different shares of lime type has been updated in the 2022 NIR submission.
IPPU	2.A.2 Lime production - CO2 Consistency	The Party reported in its NIR (p.291-296) on the AD used to estimate emissions from lime production. The Party provided for three lime types the AD (production) share: hydraulic lime, quick lime and lime produced in sugar mills. The ERT noted that these shares do not sum up to 100 per cent. During the review, the Party clarified that indeed a mistake in the reported percentages for the different types of lime has occurred. It	The ERT recommends that the Party report the correct shares of lime production in its next submission. The ERT also encourage the Party to improve the QA/QC of its NIR reporting in order to avoid such errors in future submissions.	2021 Review PMF* / I.17	Implemented. Correct figures regarding the different types of lime has been provided in the 2022 NIR submission.

		stressed that CO2 emissions are not affected by this reporting error as they are based on bottom up data. The lime production shares are provided in the NIR report but are not used to compute emissions.			
IPPU	2.A.2 Lime production Transparency	<p>The Party reported in its NIR (p.295-296) and CRF Table2(I).A-Hs1 on how it estimated CO2 emissions from sugar refineries. The ERT noted that in CRF Table2(I).A-Hs1 CO2 recovery (230,37 kton CO2 in 2019) are reported under category 2H2 which are not reported in CRF Table2(I)s2 (only emissions are reported here, identical value as reported emissions of 2H2).</p> <p>The ERT noted that this is not in accordance with [the 2006 IPCC Guidelines. During the review, the Party clarified that all CO2 emissions related to lime production (including lime production in sugar mills) are reported in 2A2. These emissions take into account the recovered CO2 from sugar mills. Hence the reported emissions from sugar mills under 2A2 are net emissions: total CO2 emissions minus recovered CO2. The Party further clarified that in order to provide further information, CO2 recovery from lime production in sugar mills is reported as CO2 recovery in 2H2 and that the only purpose of reporting this value is to provide information, as the recovered amount is already</p>	The ERT recommends that the Party improve the description in the NIR explaining the reported CO2 recovered under 2H2 and the relation to the net CO2 emissions reported under 2A2, by e.g. include the clarification provided during the review.	2021 Review PMF* / I.16	Implemented. The recommendation's feature has been taken into account in the 2022 NIR submission.

		included in the net CO ₂ emissions from 2A2. The Party added that recovered CO ₂ from sugar mills which is contained in the foams is considered in agriculture and reported under the emissions of liming under 3G (1).			
--	--	---	--	--	--

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.

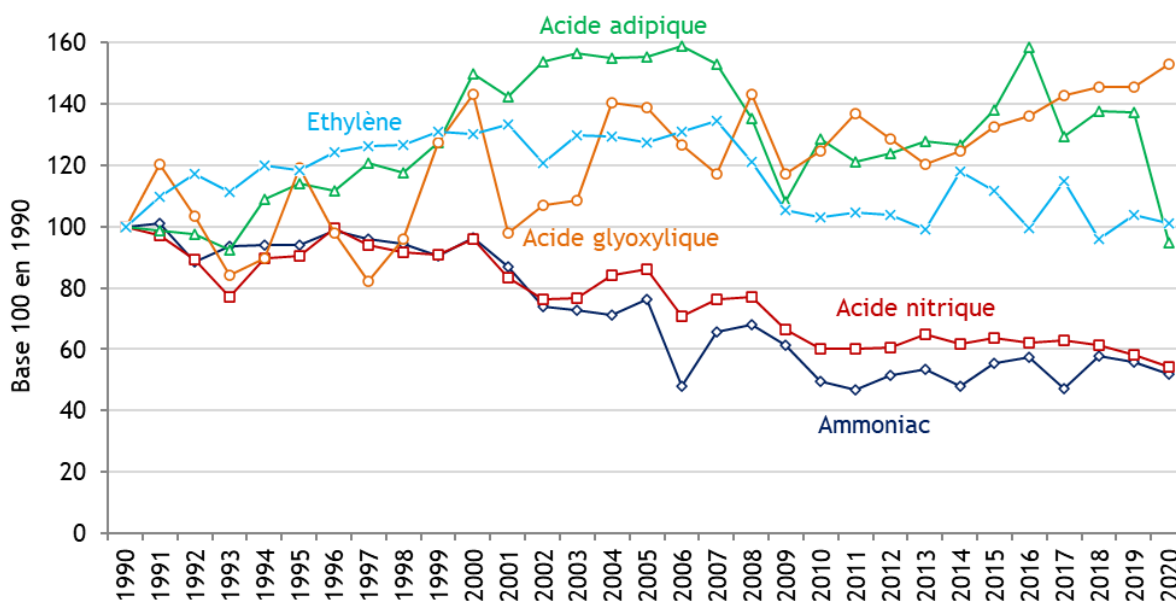
4.3 Chimie (CRF 2B)

4.3.1 Caractéristiques de la catégorie

La chimie est à l'origine d'émissions de CO₂ et N₂O 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 79 : Principales productions de l'industrie chimique



Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

Graph_2B.xlsx/2B

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

Tableau 65 : Substances pour lesquelles le secteur 2B est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
2B1	CO ₂	38 ^{ème}	0,3%	-	-
2B2	N ₂ O	-	-	13 ^{ème}	2,1%
2B3	N ₂ O	-	-	5 ^{ème}	5,1%
2B4	N ₂ O	-	-	26 ^{ème}	0,9%
2B9	HFC	-	-	17 ^{ème}	1,5%
2B9	PFC	-	-	42 ^{ème}	0,4%
2B10	CO ₂	20 ^{ème}	1,2%	37 ^{ème}	0,6%

4.3.1.1 Production d'ammoniac (2B1)

La synthèse de l'ammoniac est réalisée par reformage à la vapeur à partir du gaz naturel (utilisé en tant que matière première).

Le carbone libéré conduit à la production de CO₂, dont une partie est valorisée pour la synthèse d'urée ou la production de dioxyde de carbone liquéfié et l'autre partie est rejetée directement à l'atmosphère. L'hydrogène est mis en réaction avec l'azote pour produire l'ammoniac.

La production d'ammoniac a baissé de 48 % de 1990 à 2020. Cette baisse peut s'expliquer notamment par la fermeture successive de 3 sites de production (sur les 7 sites en activité en 1990) ; 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). Enfin, en 2020, la production a baissé de 7% comparativement à 2019, après être relativement stable depuis 2015, due notamment à la crise sanitaire.

Les émissions de CO₂ ont été réduites de 34 % de 1990 à 2020.

4.3.1.2 Production d'acide nitrique (2B2)

L'acide nitrique (HNO₃) est produit par oxydation catalytique (toile de platine) de l'ammoniac (NH₃) 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) : $4 \text{ NH}_3 + 5 \text{ O}_2 \rightarrow 4 \text{ NO} + 6 \text{ H}_2\text{O}$
- Oxydation de celui-ci en oxyde nitrique (NO₂) : $2 \text{ NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ NO}_2$
- Absorption de celui-ci dans l'eau (HNO₃) : $4 \text{ NO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{ HNO}_3$

La réaction complète est donc : $\text{NH}_3 + 2 \text{ O}_2 \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

De plus les réactions parasites occasionnent la formation de protoxyde d'azote (N₂O) :

- Sur toute la durée du cycle : $4 \text{ NH}_3 + 4 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ N}_2\text{O} + 3 \text{ H}_2\text{O}$
- En début/fin de cycle : $2 \text{ NH}_3 + 8 \text{ NO} \rightarrow 5 \text{ N}_2\text{O} + 3 \text{ H}_2\text{O}$; $4 \text{ NH}_3 + 4 \text{ NO} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 4 \text{ N}_2\text{O} + 6 \text{ H}_2\text{O}$

En conséquence, la production d'acide nitrique est une source de N₂O, de NO_x et de NH₃.

La production d'acide nitrique a diminué de 46 % entre 1990 et 2020. Cette baisse peut s'expliquer notamment par la fermeture successive de 10 sites de production (sur les 19 sites en activité en 1990). Les années de fermeture des 10 sites sont les suivantes : 1991, 1992 (4 sites), 1993, 1995, 2002, 2003 et 2009. Un onzième site a arrêté sa production en 2018 pour totalement cesser son activité en 2019. Enfin, en 2020, la production a chuté de 7% comparativement à 2019, notamment due à la crise sanitaire.

Les émissions de N_2O ont été réduites de 93 % de 1990 à 2020. La baisse des émissions de N_2O , principalement sur la période 1990 - 2002, est liée à des fermetures d'ateliers non conformes et à l'amélioration des conditions de réactions notamment. Depuis 2002, l'introduction de catalyseurs réduit la formation de N_2O , jusqu'à 90 % selon les conditions, sur certains ateliers.

4.3.1.3 Production d'acide adipique (2B3)

L'acide adipique se présente sous la forme d'une poudre blanche employée essentiellement pour la production de nylon. L'acide adipique est produit par oxydation d'un mélange de cyclohexanone / cyclohexanol sous l'action de l'acide nitrique. Cette oxydation engendre des émissions de N_2O principalement et de NO_x dans une moindre mesure. Il n'y a qu'un seul site de production d'acide adipique en France, l'usine Rhodia à Chalampé. Les effluents gazeux émis par les ateliers de Chalampé contiennent entre 40 et 65 % de N_2O . Le gaz de procédé est épuré thermiquement.

L'atelier de destruction des N_2O , installé depuis 1998 sur le site, permet la synthèse d'acide nitrique par absorption des NO_x formés. Cet atelier est équipé d'un traitement catalytique des NO_x avant rejet à l'atmosphère. Les émissions liées à la synthèse de l'acide nitrique sont traitées dans la section 2.B.2.

Il est à noter que le site émet également du CO_2 qui provient de l'oxydation d'une partie des matières premières.

Depuis 1990, la production fluctue et en 2020 elle était à 95 % du niveau de 1990. Il n'existe, actuellement, plus qu'un seul site de production et de ce fait le niveau de production est confidentiel. En 2020, la production d'acide adipique a chuté fortement comparativement aux années précédentes suite à la crise sanitaire.

Les émissions de N_2O ont été réduites de plus de 99 % entre 1990 et 2016 grâce au système de traitement installé en 1998. 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 .

4.3.1.4 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 glyoxylique 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.

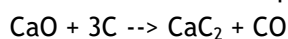
L'oxydation dans ces synthèses est à l'origine d'émissions de N₂O. Un système de traitement catalytique des émissions de N₂O a été introduit à partir de 1998 sur les unités de glyoxal de Cuise-Lamotte et en 2002 sur les unités d'acide glyoxylique.

Les émissions de N₂O ont été réduites de 96 % depuis 1990, constituant le niveau le plus bas observé sur la série temporelle, bien que la production a augmenté légèrement entre 2019 et 2020 malgré la crise sanitaire. Un système de traitement a été installé en 1999 sur le seul site actuellement en activité. Ce système vise à détruire le N₂O par traitement catalytique.

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 :

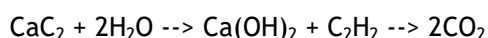


Les gaz produits étant réutilisés comme combustibles, le CO contenu dans les gaz est oxydé en CO₂. Il y avait jusqu'en 2002 une seule usine de production en France. Cette usine a fermé en 2002 et il n'y a donc plus d'émissions de CO₂ à partir de 2003 concernant la production de carbure de calcium.

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 :



L'utilisation de carbure de calcium est responsable d'émissions de CO₂.

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 : $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$; $\text{CaO} + 2\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ et $\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4\text{CO}_3\text{H}$
- Production de bicarbonate de sodium par réaction du chlorure de sodium, avec l'hydrogénocarbonate d'ammonium : $\text{NaCl} + \text{NH}_4\text{CO}_3\text{H} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaCO}_3\text{H}$
- Torréfaction du bicarbonate de sodium en carbonate de sodium : $2 \text{NaCO}_3\text{H} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- Transformation des sous-produits (chlorure d'ammonium et gaz carbonique) en hydrogénocarbonate d'ammonium.

Il n'existe en France que 2 sites de production 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 en particulier :

- Les émissions de CO₂ et CH₄ générées par la production de noir de carbone (2.B.8.f). Suite à la fermeture d'un site de production en 2009 et d'un autre en 2016, il ne reste plus qu'un site en activité et de ce fait le niveau de production est confidentiel. Il est à noter que les émissions liées aux installations de combustion (chaudières, turbines, etc.) ne sont pas comptabilisées sous cette catégorie ; elles sont prises en compte dans le secteur de la combustion dans l'industrie. Le Noir de carbone est produit par cracking catalytique par combustion ménagée d'hydrocarbures aromatiques : $C_xH_y + O_2 + N_2 \rightarrow C + CO + H_2 + H_2O + N_2$;
- Les émissions de CO₂ des autres procédés de la chimie organique (2.B.8.g) :
 - la production de monochlorure de vinyle ;
 - la production de polychlorure de vinyle ;
 - la production d'anhydride phthalique ;
- Les émissions de CH₄ de la production de styrène (suite à la fermeture successive de 2 sites de production, il ne reste plus, depuis 2010, qu'un seul site en activité en France, de ce fait le niveau de production est confidentiel).

4.3.1.8 Productions d'halocarbures, NF₃ et SF₆ (2B9)

Cette catégorie correspond aux émissions liées à la production de HFC, PFC, SF₆ et NF₃ 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 SF₆ en France. L'essentiel de la production en Europe se concentre en Allemagne et en Italie. Cependant, un site dans l'industrie nucléaire a émis du SF₆ 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 CF₄. La production depuis 1990 a été augmentée entraînant une hausse des émissions jusqu'à la mise en place d'un nouveau réacteur en 2003 et d'un oxydateur thermique fin 2008. La mise en place de ce dernier explique les très faibles émissions à partir de 2009.

Émissions fugitives

Sur l'un des deux sites de production, les émissions ont été réduites de façon importante depuis 1992, pour le HFC-143a en particulier, suite au renouvellement de l'atelier de production et, depuis 1994-1995, pour l'ensemble des gaz après l'introduction d'un incinérateur et la suppression progressive des sources diffuses. Le second site de production était déjà équipé d'un tel dispositif depuis une date antérieure à 1990.

Depuis 2003, il n'y a plus d'émissions de PFC.

Chimie du nucléaire

Un site de traitement de l'uranium utilise, pour traiter les effluents gazeux de fluor, des « pots à soufre » permettant de les neutraliser en SF₆. Les émissions sont de l'ordre de 5 tonnes par an jusqu'en 2006. Les rejets de SF₆ 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 SF₆ 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 SF₆ avant rejet à l'atmosphère. Par conséquent il n'y a plus de rejet de SF₆ depuis 2007.

4.3.1.9 Autres (2B10)

Cette catégorie regroupe en particulier :

- Les émissions de CO₂, CH₄ et N₂O liées à la combustion de sous-produits issus des matières premières introduites dans les fours de vapocraquage ainsi qu'aux procédés de fabrication de l'éthylène et du propylène.

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 (C₂H₄), propylène (C₃H₆), butène ;
- des hydrocarbures aromatiques (cycliques insaturés) : benzène, toluène, xylène.

Les coupes pétrolières sont introduites en présence de vapeur d'eau (de l'ordre de 30 à 100 % en poids) dans le vapocraqueur. Ce mélange est porté brutalement à 800°C pendant une fraction de seconde puis est très rapidement refroidi. Dans ces conditions, les molécules se scindent en plusieurs morceaux et donnent naissance à divers produits. Il en résulte une production dont la composition est d'environ 36 % éthylène, 13 % propylène, 8 % butylène et 7 % aromatiques. Ces produits sont séparés par distillation. On compte 6 vapocraqueurs en France depuis la fermeture d'une unité en 2015.

En plus des produits cités ci-dessus, des déchets gazeux à valeur énergétique intéressante sont réutilisés dans les fours de vapocraquage comme combustibles. Les émissions liées à la combustion de ces gaz sont prises en compte dans cette section conformément aux lignes directrices 2006 du GIEC [771].

- Les émissions de CO₂ liées à la production d'hydrogène : ce composé est produit par vaporeformage du gaz naturel. Ce dernier est donc utilisé en tant que matière première ;
- Les émissions de N₂O générées par la production de tétrafluorure d'uranium (UF₄) : il s'agit de la première étape dans la préparation du combustible nucléaire (conversion de l'uranium brut en UF₄) avant sa transformation en hexafluorure d'uranium (UF₆) puis son enrichissement). Il n'existe qu'un seul site de production d'UF₄ en France ;
- Les émissions de CO₂ liées à la production de tétrachlorure de titane (TiCl₄) : Il n'existe qu'un seul site de production de TiCl₄ en France. Le procédé de production utilisé en France est le procédé par carbo-chloration (2TiO₂ + 4 Cl₂ + 3C --> 2TiCl₄ + 2 CO + CO₂). L'apport de carbone est réalisé au moyen de coke de pétrole ;
- Les émissions de N₂O générées par la production de N₂O médical et industriel : il n'existe qu'un seul site en France produisant du N₂O médical et industriel. Au cours de la fabrication du N₂O, 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 de CO₂, CH₄ et N₂O liées à l'utilisation de torchères dans l'industrie chimique : la torchère est un équipement de destruction des gaz résiduels, 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 ;

- Les émissions de CO₂ et N₂O des autres procédés de la chimie organique n'entrant pas dans les catégories précitées ;
- Les émissions de CO₂ 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 CO₂. 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 CO₂ 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/fr/omine/>

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 globale 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 naturel des vaporeformeurs sont calculées à partir des émissions de CO₂ provenant du procédé et de facteurs d'émission nationaux (cf. section générale énergie).

Emissions de CO₂

Deux spécificités sont à considérer quant au calcul des émissions de CO₂ :

- D'une part, le gaz naturel est utilisé en tant que matière première mais également en tant que combustible. Ces deux consommations sont à l'origine d'émissions de CO₂. Seules les émissions du CO₂ issues des consommations non énergétiques de gaz naturel sont comptabilisées dans cette partie. En effet, les données permettent de distinguer les émissions liées à la consommation de gaz naturel à des fins énergétiques (rapportées en section énergie 1A2) des émissions liées à la consommation en tant que matière première. Pour information, les exploitants déclarent soit séparément les émissions procédé et combustion, soit l'ensemble des émissions sans distinction [19]. Dans ce dernier cas, les émissions du procédé sont déterminées à partir des consommations non énergétiques fournies par les exploitants [50] ;

- D'autre part, pour certains sites, une partie du CO₂ émis est réutilisée pour la synthèse de l'urée ou la production de CO₂ liquéfié. Le CO₂ mis en œuvre pour fabriquer le produit (urée ou CO₂ 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 CO₂ réutilisées pour la production de CO₂ liquéfié sont comptabilisées dans le secteur de la production d'ammoniac alors que ;
- Le CO₂ utilisé pour la production d'urée est comptabilisé dans les secteurs consommateurs d'urée (e.g. agriculture, etc.).

Depuis 2004, les émissions de CO₂ proviennent des déclarations annuelles de rejets [19] complétées par des échanges avec les exploitants [50]. Pour les années 1990 à 2003, les émissions de CO₂ sont recalculées par site, à partir du facteur émission spécifique à chaque installation de 2004 et de la production annuelle. La cohérence temporelle depuis 1990 est vérifiée par le fait que le facteur d'émission global est du même ordre de grandeur sur toute la série et par le fait que le périmètre des producteurs considérés est identique sur toute la série. Les quantités de CO₂ réutilisées pour la production de CO₂ 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 n'émettait donc pas de CO₂ au niveau de son procédé de production d'ammoniac.

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 CO₂ de procédé).

Le tableau ci-dessous compare les émissions de CO₂ au titre du SEQUE-EU et les émissions de CO₂ de l'inventaire depuis 2013. À noter que les annexes MMR ne prennent pas en compte les évolutions de l'inventaire ; cela pouvant entraîner des différences entre le total « SEQUE-UE 2B1 + urée » et le total « Inventaire 2B1 + urée ».

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Production d'ammoniac et production d'acide nitrique		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
SEQE-UE Total CO ₂ SEQE-UE	Emissions totales de CO ₂ 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)	2 281,51	2 118,92	2 335,13	2 377,58	1 969,05	2 417,68	2 531,81	2 355,08
SEQE-UE 2B1 + urée	Emissions de CO ₂ issues du procédé ammoniac déclarées au titre du SEQE-UE (kt)	1 328,00	1 320,69	1 357,91	1 394,31	1 253,16	1 570,35	1 606,34	1 467,87
SEQE-UE 2B2	Emissions de CO ₂ issues du procédé acide nitrique déclarées au titre du SEQE-UE (kt)	443,66	570,96	522,78	543,76	432,86	559,94	532,31	432,61
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)	509,85	227,28	454,44	439,52	283,03	287,39	393,17	454,61
Inventaire 2B1	Emissions de CO ₂ issues du procédé ammoniac déclarées au titre de l'inventaire (kt)	1 090,35	1 043,69	1 155,28	1 186,64	1 195,25	1 378,42	1 462,71	1 325,01
Inventaire CO ₂ utilisé pour la production d'urée	CO ₂ utilisé pour la production d'urée au titre de l'inventaire ; CO ₂ inclus dans les secteurs utilisateurs de l'urée au titre de l'inventaire (agriculture par exemple) (kt)	210,24	142,01	211,22	207,67	72,07	191,93	143,48	142,85
Inventaire 2B2	Emissions de CO ₂ issues du procédé acide nitrique déclarées au titre de l'inventaire (kt)	443,66	570,96	522,78	543,76	432,86	559,94	532,31	432,61
Inventaire 1A2c	Emissions de CO ₂ issues de la combustion pour les sites de production d'ammoniac et d'acide nitrique déclarées au titre de l'inventaire (kt)	537,27	362,26	445,86	439,52	268,87	287,39	393,31	454,61

4.3.2.2 Production d'acide nitrique (2B2)

La méthode appliquée pour le secteur de la production d'acide nitrique est de rang GIEC 3.

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 N₂O

La fédération sectorielle a communiqué au Citepa les émissions par site pour 1990 et de 1999 à 2001 et une valeur d'émission pour l'ensemble des sites pour les années 1991 à 1998 [143]. Ces données ont été comparées par le Citepa aux données disponibles dans les déclarations des rejets des industriels pour validation [19]. A ces valeurs sont ajoutées les émissions des installations d'un groupe [733] non inclus dans les statistiques de la fédération. La totalité des émissions liées à la production nationale est donc prise en compte sur la période 1990-2001, à partir de données collectées en bottom-up ou issues d'une approche bottom-up.

A partir de 2002, les émissions de chaque site du périmètre considéré sont disponibles dans les déclarations des rejets industriels [19]. L'ensemble de ces émissions est déterminé par les exploitants par mesure.

Il est à noter que depuis 2013, la production d'acide nitrique est entrée dans le système d'échange de quotas de gaz à effet de serre. Par ailleurs, en 2002, les industriels ont adopté un référentiel de Bonnes Pratiques approuvé par l'AFNOR [146] pour estimer les émissions de N₂O des ateliers de fabrication d'acide nitrique.

4.3.2.3 Production d'acide adipique (2B3)

La méthode appliquée pour le secteur de la production d'acide adipique est de rang GIEC 3.

Les émissions, facteurs d'émission et la production (confidentielle) étaient auparavant communiquées directement par le site [147]. Les données de production (confidentielle) et d'émission sont désormais récupérées dans les déclarations annuelles de rejets [19].

Emissions de CO₂

La production d'acide adipique est émettrice de CO₂ qui provient de la production du mélange cyclohexanone / cyclohexanol et de l'oxydation d'une partie des matières premières oxydées. Ces émissions de CO₂ 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 N₂O

Les émissions de N₂O proviennent de communications directes avec le site [147] ou sont extraites des déclarations annuelles des émissions [19].

En marche normale, les émissions de N₂O 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 N₂O sont alors déterminées par bilan matière. Les émissions calculées correspondent à plus de 98 % de l'ensemble des émissions.

Les émissions ont été considérablement réduites depuis 1998 suite à l'installation de l'unité de traitement thermique. Le N₂O est brûlé avec du méthane dans des conditions particulières pour transformer le N₂O en NO, NO₂ et N₂. Les vapeurs nitreuses sont ensuite adsorbées dans l'eau pour créer de l'acide nitrique. Les émissions sont fonction des phases d'arrêt du traitement thermique.

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 N₂O

Les émissions de N₂O 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 N₂O sont réduites en N₂ et O₂. En marche normale de l'installation, les émissions de N₂O 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 N₂O 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).

La marche dégradée de l'installation se résume à environ 6 jours par an.

Les données de production et facteurs d'émission sont confidentiels.

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

La méthode appliquée pour le secteur de la production de carbure de calcium est de rang GIEC 1.

Production

La production de carbure de calcium était assurée en France par un seul site ayant cessé son activité en 2003.

Les données de production proviennent de statistiques nationales pour les années 2001 et 2002 et sont interpolées pour les années antérieures.

Utilisation

Le carbure de calcium est consommé dans de nombreux secteurs dont certains sont comptabilisés spécifiquement dans l'inventaire. Les émissions sont prises en compte dans les secteurs consommateurs mettant en œuvre de la décarbonatation.

Afin d'assurer la complétude de l'inventaire, la quantité prise en compte pour l'utilisation de carbure de calcium est calculée sur la base de la quantité produite à laquelle les imports sont ajoutés et les exports soustraits, correspondant ainsi à la consommation nationale.

Pour éviter les doubles comptes dans le calcul des émissions, les quantités de carbure de calcium utilisées dans les autres secteurs mettant en œuvre de la décarbonatation sont retirées de la consommation nationale.

Emissions de CO₂

Les émissions de CO₂ 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 CO₂

Les émissions de CO₂ 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 CO₂ 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 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 CO₂ 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 CO₂

Les émissions de CO₂ sont déterminées à partir des déclarations des sites de production à partir de 2001 [19]. Pour les années antérieures, les mêmes facteurs d'émission sont conservés.

Il est à noter que la production de noir de carbone est entrée, en 2013, dans le champ d'application du système d'échange de quotas de gaz à effet de serre (émissions de CO₂ de procédé).

Emissions de CH₄

Les émissions de CH₄ sont déterminées à partir du facteur d'émission indiqué dans le Guidebook IPCC [1053] et de la production nationale.

Production de monochlorure de vinyle (MVC)

La méthode appliquée pour le secteur de la production de MVC est de rang GIEC 2 jusqu'en 2012, du fait de la prise en compte, pour partie, de données spécifiques aux installations puis de rang GIEC 3 pour les émissions de CO₂ depuis 2013.

Il reste trois sites de production en France. Le niveau d'activité est connu pour les années 1990, 1994 et 1995 à partir d'un recensement auprès des sites. Pour les années 2004 et suivantes, la production provient d'une compilation des données disponibles dans les déclarations annuelles des rejets [19]. Avant 2004, pour les années où la production n'est pas disponible, l'activité est estimée par interpolation des années connues et/ou à partir de la production de PVC qui est connue [53].

Emissions de CO₂

A partir de 2013, les émissions de CO₂ proviennent directement des déclarations annuelles des rejets [19]. Entre 2004 et 2012, certains sites ont pu fournir leurs émissions rétrospectivement. Pour les autres, un facteur d'émission moyen basé sur les années 2013 et 2014 est utilisé. Pour les années antérieures à 2004, un facteur d'émission moyen national est calculé en se basant sur les facteurs d'émission des années 2005 à 2012 (périodes Kyoto 1 et 2).

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 CO₂

Certains sites de production de PVC déclarent des émissions de CO₂ procédés liées à l'utilisation de peroxydes organiques.

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, 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.

Le facteur d'émission national estimé pour 2004 est utilisé pour les années antérieures.

Production de styrène

La méthode appliquée pour le secteur de la production de styrène est de rang GIEC 2.

En 1990, il y avait trois sites de production en France. Depuis 2010, il n'en reste plus qu'un. Les activités proviennent du SESSI [53] jusqu'en 1990 et directement des déclarations annuelles de rejets des industriels [19] pour les années suivantes. Les activités des années pour lesquelles les données ne sont pas disponibles sont estimées par interpolation des années connues.

Emissions de CH₄

Des émissions de CH₄ 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 CO₂

Les facteurs d'émissions sont calculés à partir des émissions de CO₂ 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, NF₃ et SF₆ (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 CF₄).

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].

4.3.2.9 Autres (2B10)

Production d'éthylène - propylène

La méthode appliquée est de rang 2 et plus (par extrapolation) du fait de la prise en compte de données spécifiques aux installations.

Combustion dans les fours de vapocraquage : Les données disponibles détaillées (types, quantités et caractéristiques des combustibles, types d'équipements, mesures des émissions, bilans, etc.) [19] permettent une estimation fine des émissions de la combustion de quelques substances, notamment celles concourant à l'acidification et au changement climatique. Les combustibles gazeux considérés correspondent aux déchets industriels gazeux, gaz de pétrochimie et autres combustibles gazeux (respectivement NAPFUE 307, 308 et 314).

Les émissions des substances liées à la combustion sont estimées.

Procédés : Le niveau de production nationale de l'éthylène et du propylène est issu des communications des exploitants auprès du CITEPA entre 1990 et 2005 [50] et des déclarations annuelles [19] après 2005.

Les procédés de vapocraquage génèrent des émissions de CO_2 (très faibles), de CH_4 et de COVNM.

Emissions de CO_2

Combustion fours : Les émissions de CO_2 sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque combustible. Les facteurs spécifiques déclarés par l'exploitant sont utilisés en priorité [19], notamment afin d'assurer la cohérence des données retenues pour l'inventaire avec celles déclarées au titre du SEQUE, basées sur des mesures spécifiques. Lorsque l'exploitant ne déclare pas de facteurs spécifiques, une moyenne du facteur d'émission par combustible et par site ou les valeurs nationales (par combustible) (cf. section générale énergie) sont appliquées.

Procédés : Un site de production déclare des émissions très faibles de CO_2 liées au procédé depuis 2008 [19]. Pour les années antérieures, le FE CO_2 recalculé pour l'année 2008 est appliqué.

Emissions de CH_4

Combustion fours : Sur l'ensemble de la période, les émissions de CH_4 sont déterminées au moyen des facteurs d'émission par défaut relatifs à chaque combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

Procédés : Les émissions de CH_4 sont déterminées à l'aide d'un facteur d'émission, recalculé à partir du facteur d'émission de COVNM national et du ratio des facteurs d'émission de CH_4 et COVNM issus des lignes directrices du GIEC 2006 [705].

Emissions de N_2O

Combustion fours : Sur l'ensemble de la période, les émissions de N_2O sont déterminées au moyen des facteurs d'émission par défaut relatifs à chaque combustible provenant des lignes directrices du GIEC 2006 [623].

Procédés : Aucune émission de N_2O n'est attendue.

Production de H_2

La méthode appliquée pour le secteur de la production d'hydrogène est de rang GIEC 2 (par assimilation) jusqu'en 2006 puis rang 3 à partir de 2007.

Jusqu'en 2006, le niveau de production d'hydrogène était disponible dans les statistiques nationales [53]. À partir de 2007, les données de production utilisées proviennent des déclarations des sites de production [19].

Par ailleurs, les consommations de gaz naturel (à usage non énergétique) sont, à partir de 2007, calculées à l'aide des émissions déclarées par les exploitants et d'un facteur d'émission national. Pour les années antérieures, les consommations de gaz naturel sont calculées à partir du niveau de production et d'un facteur d'émission national.

Emissions de CO₂

Jusqu'en 2006, les émissions de CO₂ sont estimées à partir des consommations non énergétiques de gaz naturel en considérant que l'ensemble du carbone entrant dans le procédé sous forme de gaz naturel est émis sous forme de CO₂ et en utilisant un facteur d'émission national (cf. section générale énergie).

À partir de 2007, les émissions de CO₂ proviennent des déclarations des sites de production [19].

La cohérence temporelle est vérifiée en comparant les FE CO₂ recalculés depuis 2007 à partir des données des exploitants avec les FE CO₂ nationaux pour le gaz naturel.

Production de TiCl₄

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 CO₂

À partir de 2006, les émissions de CO₂ proviennent des déclarations des sites de production [19]. Pour les années antérieures, les émissions de CO₂ sont estimées à l'aide du facteur d'émission déduit pour l'année 2006.

Production d'UF₄

La méthode appliquée pour le secteur de la production d'UF₄ 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 N₂O

Les émissions de N₂O proviennent selon les années de communications [50] ou des déclarations des sites de production [19].

Production de N₂O

La méthode appliquée pour le secteur de la production de N₂O 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 N₂O

Les émissions de N₂O 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 CO₂) en indexant l'activité des torches avec les productions connues.

Emissions de CO₂

A partir de 2012, les facteurs d'émission de CO₂ sont déterminés à partir des quantités de gaz torchés et des données d'émissions [19].

Pour les années antérieures à 2012, les émissions sont déterminées site par site via la moyenne des facteurs d'émission des années 2012 et 2013.

Emissions de CH₄ et N₂O

A partir de 2012, les facteurs d'émission de CH₄ et de N₂O sont déterminés à partir des quantités de gaz torchés et des données d'émissions [19]. Si un site ne présente aucune donnée pour une année, un facteur d'émission est déterminé à partir des années connues [19]. Si aucune valeur n'est disponible pour la période, les valeurs moyennes des facteurs d'émission des sites ayant une activité similaire sont utilisées. A défaut, les facteurs d'émission par défaut des lignes directrices du GIEC 2006 [397] sont appliqués.

Pour les années antérieures à 2012, les émissions sont déterminées site par site via la moyenne des facteurs d'émission des années 2012 et 2013.

Utilisation de carbonates dans l'industrie chimique

La méthode appliquée pour l'utilisation de carbonates dans l'industrie chimique est de rang GIEC 3.

Emissions de CO₂

Quinze sites industriels chimiques utilisent de la castine ou une matière carbonée (calcaire par exemple) pour le traitement des fumées engendrant des émissions de CO₂.

Les émissions nationales sont déterminées à partir des éléments suivants :

Si les données d'émission sont disponibles pour un site de production via les déclarations annuelles [19], alors ses données d'émission sont utilisées.

Dans le cas contraire, la dernière année d'émission disponible d'un site est reportée jusqu'à la date de mise en service du site.

Production d'autres produits organiques n'entrant pas dans une catégorie citée

La méthode appliquée pour le secteur de la production d'autres produits organiques n'entrant pas dans une catégorie citée est de rang GIEC 2.

Plus d'une cinquantaine de sites, dont certains sont de petits émetteurs, n'entrent pas dans les activités précitées et sont répertoriés dans cette catégorie. Les activités étant très diverses (i.e. élastomère, etc.), les émissions sont rapportées sur une production fictive.

Les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission provenant de sources diverses parfois confidentielles, des statistiques fournies par l'UIC [118] et des déclarations annuelles de rejets [19].

A partir de 2004, les déclarations sont de plus en plus exhaustives. Cependant, la complexité réside dans la détermination des diverses productions ce qui induit une incertitude supérieure au résultat par activité comparée à l'incertitude globale attachée au secteur.

Les sites de production d'éthanol sont distingués dans cette catégorie. La production nationale 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.

Emissions de CO₂

Pour le reste de la chimie organique, certains sites émettent du CO₂, 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 CO₂ sont calculées en considérant le même taux d'évolution que pour les COV. En effet, l'UIC fournit une estimation des émissions annuelles de COV pour la chimie entre 1998 et 2004 [331].

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

Emissions de N₂O

Les données d'émission de N₂O proviennent directement des déclarations annuelles des industriels [19] à partir de 2004. 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, [331]) et entre 1990 et 1997, la valeur des émissions de 1998 est reportée.

4.3.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2^{ème} 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 CO₂,
- 3 % pour l'activité et 100 % pour le facteur d'émission, pour le CH₄,
- 7,5 % pour les émissions de N₂O (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 SF₆.

Pour les émissions de N₂O, l'incertitude provient de mesures directes et des quotas du secteur [Règlement 601-2012 - annexe 8 - tableaux 1 et 2]. Pour les autres valeurs, les incertitudes sont basées sur l'avis des experts sectoriels.

La cohérence temporelle des séries est respectée, les données provenant des déclarations des exploitants utilisées pour les années récentes étant également prises en compte pour rétropoler les séries pour les années plus lointaines lorsque cela s'avère nécessaire.

Des contacts avec certains industriels permettent aussi d'obtenir des données pour les années antérieures aux déclarations. Dans tous les cas, les années manquantes sont complétées en s'appuyant sur les données disponibles (typiquement soit un facteur d'émission moyen est calculé, soit le plus

ancien facteur d'émission connu est reporté sur les années antérieures, soit une évolution linéaire est calculée entre deux années connues éloignées dans le temps).

Ceci permet de s'assurer qu'il n'y a pas de rupture brusque dans les séries lorsque les données relatives à certaines années ne sont pas disponibles.

4.3.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Les émissions obtenues dans les déclarations annuelles des exploitants sont vérifiées par les autorités locales (DREAL) puis validées par le Ministère chargé de l'Ecologie (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 N₂O 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 N₂O 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 N₂O des ateliers de fabrication d'acide nitrique. Il a été vérifié que les données d'activité sont bien déclarées en 100 % HNO₃.

Production de gaz fluorés :

- les facteurs d'émission des différents producteurs français ont été comparés entre eux et une cohérence entre chaque site a été mise en évidence. De plus, le facteur d'émission de HFC-23 du producteur français de HCFC-22 a été comparé avec ceux proposés dans les lignes directrices du GIEC 2006 et se situe effectivement dans la gamme proposée pour la catégorie *Usine avec capture et destruction de HFC-23* ;

- la France a participé en 2013/2014 à des échanges de revue bilatérale avec l'Allemagne sur l'inventaire des émissions de gaz fluorés. Lors de ces échanges, de multiples questions ont été posées concernant les grands principes de l'inventaire (complétude, cohérence, transparence). Ainsi, les principes d'assurance qualité ont été contrôlés à travers cette revue croisée ;

- le Citepa contrôle chaque année s'il y a de nouveaux sites producteurs de gaz fluorés en France à partir du registre déclaratif français [19] pour assurer l'exhaustivité des émissions des industriels.

4.3.5 Recalculs

Impact des recalculs du CRF 2B

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	36 968	34 833	21 544	16 056	14 680	14 131	12 623	10 704	8 913	7 869	7 425	7 302	7 943	8 031	7 680	8 667	7 649	7 608	0
Nouveau	kt CO ₂ e	37 021	34 878	21 589	16 108	14 717	14 154	12 673	10 703	8 958	7 886	7 465	7 356	8 026	8 107	7 757	8 721	7 706	7 666	7 015
Différence	kt CO ₂ e	+53	+45	+45	+51	+37	+23	+49	-1,5	+45	+17	+40	+55	+83	+77	+76	+53	+57	+58	+7 015
	%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	-0%	+1%	+0%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%	-

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

4.3.5.1 Production d'ammoniac

Description du recalcul

Le facteur d'émission du CO₂ (gaz naturel) a été mis à jour sur toute la série temporelle.

Raison et justification

Amélioration de la cohérence temporelle.

4.3.5.2 Production d'acide nitrique (2B2)

Description du recalcul

Les émissions de N₂O d'un des sites ont été mises à jour pour 2019.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude

4.3.5.3 Production d'acide adipique (2B3)

Description du recalcul

Les émissions de CO₂ ont augmenté par l'ajout d'un atelier de production de cyclohexanol et cyclohexanone, mélange qui est un intermédiaire pour la production d'acide adipique.

Raison et justification

Amélioration de l'exhaustivité.

4.3.5.4 Production de dérivés pétrochimiques et noir de carbone (2B8)

Description du recalcul

Les émissions de CO₂ pour certains sites industriels (dont les sites produisant du polyéthylène) étaient liées à des oxydateurs de COV, ces émissions ont été transférées dans la section « 2.D.3 Other (please specify) ».

Pour le noir de carbone, le facteur d'émission CH₄ a été mis à jour pour 2019 car une erreur dans la valeur avait été reportée.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude.

4.3.5.5 Productions d'halocarbures, NF₃ et SF₆ (2B9)

Description du recalcul

A partir de 2018, les seuils de détection des mesures d'émissions des gaz fluorés d'un site de production de trifluoroacide n'ont plus été atteints, par conséquent les émissions ont été corrigées.

Correction d'une erreur sur un site de production de gaz fluorés en 2019 qui prenait en compte les émissions des groupes frigorifiques.

Raison et justification

Amélioration de la cohérence temporelle et de l'exactitude.

4.3.5.6 Autres (2B10)

Description du recalcul

Production d'autres produits organiques n'entrant pas dans une catégorie citée

Entre 2005 et 2018 les émissions de CO₂ ont été révisées pour certains sites industriels et les émissions de CO₂ liées à des oxydateurs ont été transférées dans la section « 2.D.3 Other (please specify) ».

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude, de l'exhaustivité et de la comparabilité.

4.3.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
IPPU	2. General (IPPU) (I.2, 2019), (I.2, 2017) (I.17, 2016) (I.17, 2015) Transparency	If different data sources and methodologies/tiers are used for different periods (e.g., production of lime, ammonia, nitric acid, and iron and steel), provide explanations for such inter-annual changes, where applicable, including information on how the consistency of the time series is ensured when different data sources or methodologies are used to estimate emissions for	The Party reported in its NIR chapter 4 (CRF2) for all key categories, and others, how AD, methodologies and tiers are applied when breaks in data sources have occurred. The QA/QC section of each category also contains information on how time series consistency is checked. The ERT considers that the recommendation has been addressed, but invites the Party to provide more background information and analysis on observed times series trends of emission	2021 Review PMF* / I.1	Implemented. Regarding lime CO ₂ emissions, explanations / information on the issue of consistency of the different methods/data sources used for the time series since 1990 have been implemented in the NIR 2020. Concerning ammonia production, the NIR 2022 includes explanations on this issue and the current reporting.

		different periods of time.	factors and emissions, currently the NIR includes this only for AD.		
IPPU	2.B.1 Ammonia production - CO2 Transparency	<p>The Party reported in its NIR (p.307-309) and CRF Table2(I)s1 and Table2(I).A-Hs1 CO2 emissions from ammonia production. Although the NIR states that CO2 is removed for in urea production and for the production of liquified CO2, the entry form removal in CRF Table2(I).A-Hs1 is "NO".</p> <p>During the review, the Party clarified that CO2 emissions from ammonia production are accounted for differently in the EU-ETS and in the national GHG inventory. CO2 ETS emissions take into account CO2 emission releases plus CO2 recovered for liquefaction of CO2 plus CO2 recovered for urea production (all CO2 is accounted in the production sector). In the national GHG inventory, CO2 recovered for urea production is subtracted from the CO2 ETS (to avoid double-counting), but the CO2 recovered for liquefaction of CO2 is not subtracted because the CO2 emissions related to the uses of liquid CO2 is not reported elsewhere in the inventory.</p> <p>France acknowledged that there is an omission in the CRF Table2(I).A-Hs1, in which CO2 recovery emissions for the urea production should be reported (for information) instead of "NO". The Party further indicated that</p>	The ERT recommends that the Party reports CO2 emissions of removal in ammonia production for urea production in the CRF Table2(I).A-Hs1 and describe transparently in the NIR how these removals are treated compared to the reported emissions this category.	2021 Review PMF* / I.14	Implemented. The CO2 emissions of removal in ammonia production for urea production have been added in the CRF Table2(I).A-Hs1. Regarding related explanations, it was already included the previous NIR.

		this will be corrected in the next submission.			
IPPU	2.B.1 Ammonia production - CO2 Comparability	<p>The Party reported in its NIR (p.307-309) and CRF Table2(I)s1 and Table2(I).A-Hs1 on CO2 emissions from ammonia. From the description in the NIR, it became clear that the reported emissions do not include CO2 from combustion activities in this category, as prescribed in the IPCC 2006 GL.</p> <p>During the review, the Party clarified that it does not report combustion emissions from ammonia production in the IPPU sector but in the energy sector (emissions from auxiliary combustion equipment) to allow a better overall treatment of the national energy balance data in order to avoid double counting or underestimation. The Party added that the reported split relates to the split between energy (in 1A2) and non-energy fuel uses (in 2B1). The 2B1 emissions are based on detailed fuel consumption data provided by plants (bottom-up approach), but for 1A2, a top-down approach is used, based on the national energy balance.</p>	The ERT recommends that the Party include CO2 emissions from energy activities under ammonia production in IPPU (2B1) as per IPCC GL, report on how the consistency of the times series has been implemented and report on the resulting recalculations between the energy and IPPU sector in its next submission.	2021 Review PMF* / I.15	Implemented. Non-energy CO2 emissions are reported in 2B1 using bottom-up approach and CO2 emissions from combustion are reported in 1A2 using a top-down approach.

4.3.7 Améliorations envisagées

Aucune amélioration sectorielle n'est prévue.

4.4 Métallurgie (CRF 2C)

En 2020, pour la France au périmètre Kyoto, 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 66 : Substances pour lesquelles les secteurs du 2C sont sources clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
2C1 Iron and Steel Production	CO ₂	11 ^{ème}	2,2 %	18 ^{ème}	1,5 %
2C3 Aluminium Production	PFC	-	-	21 ^{ème}	1,3 %
2C7 Metal Production / Other	SF ₆	-	-	57 ^{ème}	0,3 %

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 CO₂, les PFC et le SF₆.

4.4.1.1 Procédés de la sidérurgie et de la transformation de l'acier (2C1)

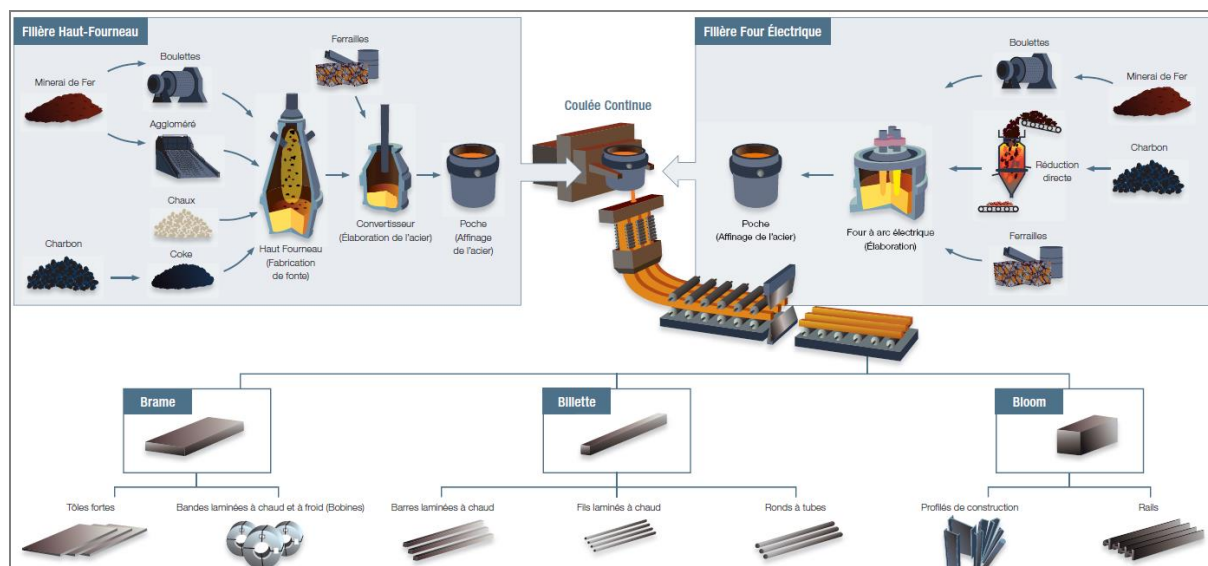
Les activités traitées dans cette section concernent une partie des ateliers sidérurgiques, dans la limite de la partie non énergétique.

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 laminaires.

Pour information, la production de ferroalliages est traitée dans la section « 2C2 - ferroalloys ».

Le procédé de production sidérurgique est rappelé ci-dessous.



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.

Actuellement, deux sites intégrés de production d'acier sont en activité (présence du four à coke, du haut-fourneau, du convertisseur à oxygène, et de laminoirs), un site ayant fermé ses hauts-fourneaux et le four à oxygène en octobre 2011. Certains sites disposent d'une ou plusieurs activités spécifiques (hauts-fourneaux par exemple) sans posséder toute la chaîne de production d'acier.

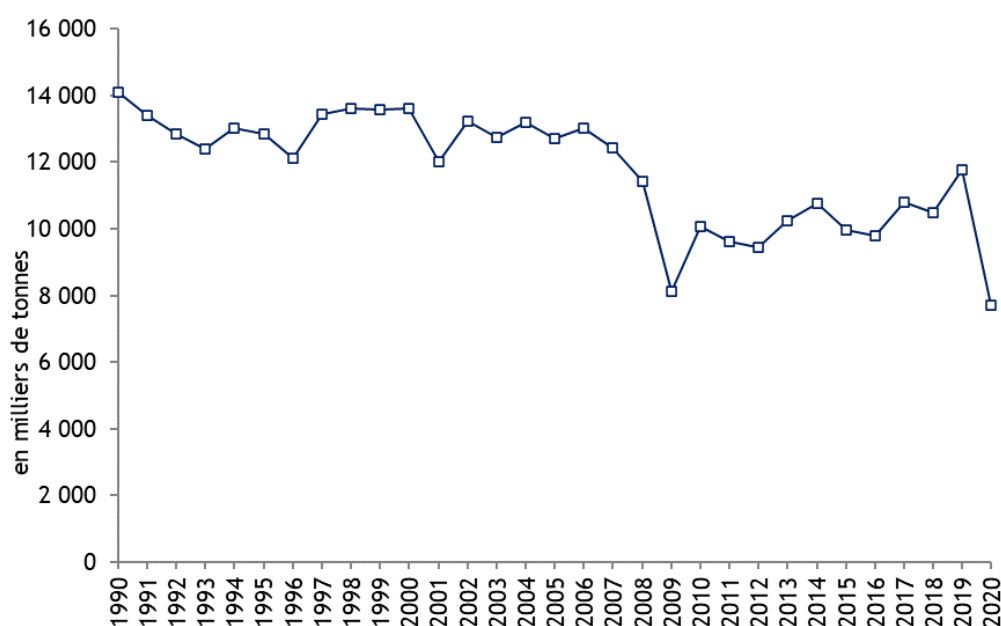
Quatre chaînes d'agglomération existent en France actuellement. Trois hauts-fourneaux dont deux au sein des sites intégrés sont encore en fonctionnement. Ces deux sites comptent les deux

convertisseurs à oxygène encore présents sur le territoire français. Une vingtaine d'aciéries électriques existe en France. Les laminoirs étaient au nombre de 70 en 2000 selon l'enquête EACEI (d'après les codes NAF 272 et 273 (sauf 273J)).

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.

Figure 80 : Production de fonte brute en France (périmètre Kyoto)

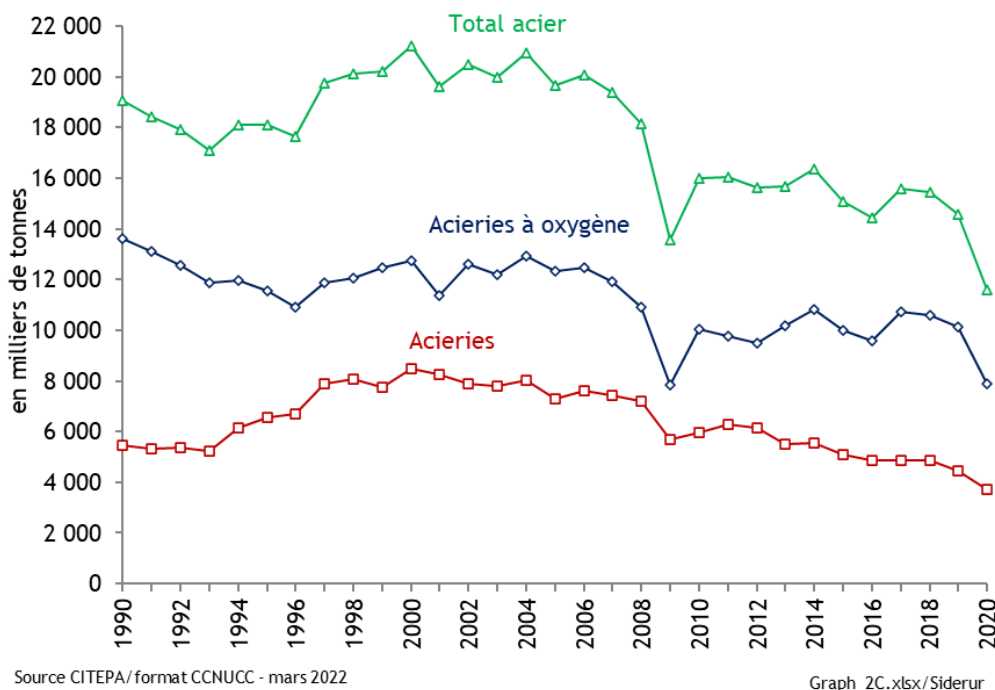


Source CITEPA/format CCNUCC - mars 2022

Graph_2C.xlsx/Siderur

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 %), suite à 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). La filière à oxygène représente 68% de la production totale nationale d'acier en 2020. Cette répartition est relativement stable depuis 1990. Tout comme la production de fonte brute, la production d'acier O₂ a connu une forte chute en 2020 suite notamment à la crise sanitaire (-22% entre 2019 et 2020).

Figure 81 : Production d'acier en France - périmètre Kyoto



4.4.1.2 Production de ferroalliages (2C2)

Ce secteur n'est pas une catégorie clé en 2020.

- Ferroalliages (hors ferrosilicium)

Les ferroalliages sont constitués de fer allié à d'autres métaux tels que le manganèse, le chrome ou le nickel. Les matières entrantes subissent un procédé de réduction, grâce à l'apport d'agents réducteurs tels que le coke ou le charbon. Deux types de technologies sont utilisées en France :

- les fours électriques, présents depuis 1978.
- les hauts-fourneaux, présents jusqu'en 2003.

Il subsiste deux sites en activité en métropole (procédé électrique) et deux en Nouvelle-Calédonie (procédé électrique). Les sites présents en Nouvelle-Calédonie (périmètre CCNUCC) utilisent du charbon et non du coke pour le procédé de réduction.

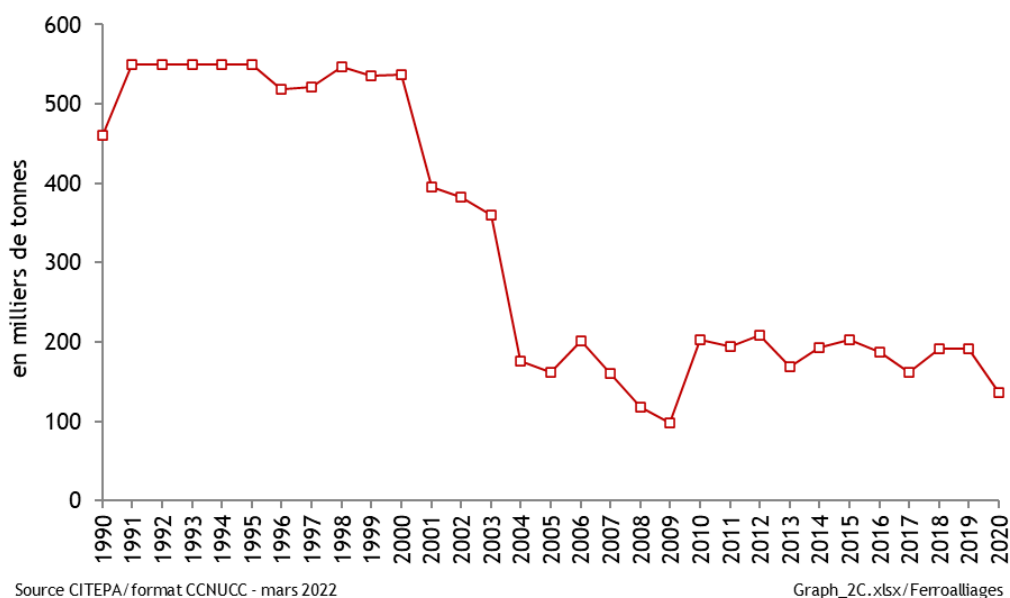
- Ferrosilicium

Certains procédés de la production de silicium, ferrosilicium et silico-alliages, sont à l'origine d'émissions de CO₂ du fait de l'utilisation d'agents réducteurs. La production est réalisée par électrometallurgie dans des fours à arc électrique. La réaction globale est une réaction de carboréduction ($\text{SiO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{Si} + \text{CO}_2$), 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 CO₂ et CH₄ de la production de silicium, ferrosilicium et silico-alliages du fait de l'utilisation d'agents réducteurs. Les émissions de CO₂ 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 82 : Production de ferroalliages en France (périmètre Kyoto)



4.4.1.3 Production d'aluminium (2C3)

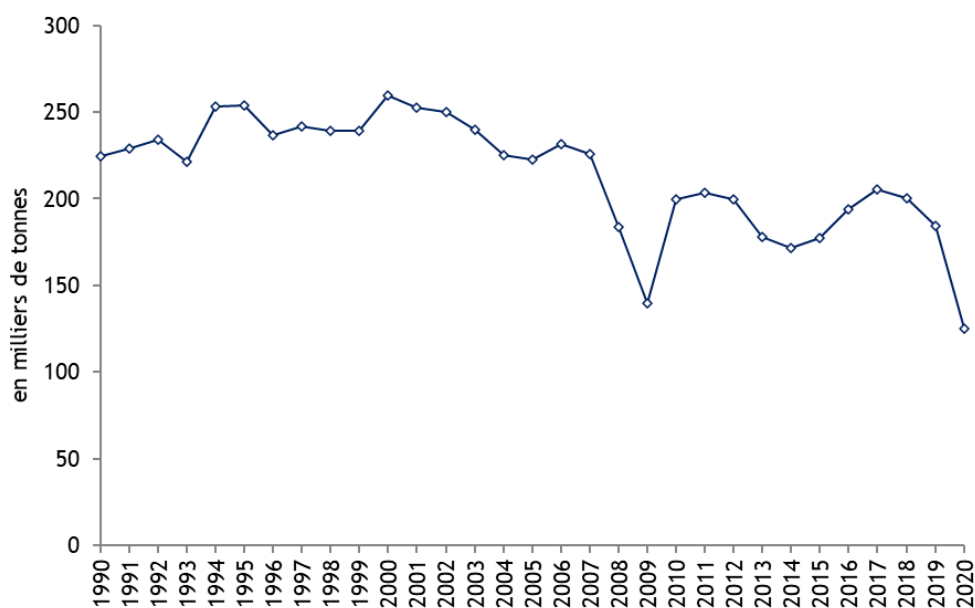
L'aluminium primaire est obtenu par électrolyse de l'alumine dans un bain de cryolithe (contient du fluor) qui constitue la cathode, et des anodes en carbone. Deux types de technologies existent :

- la plus ancienne, dénommée SWPB (side-worked pre-baked, ou piquage latéral) correspondant à une alimentation mécanisée sur les côtés de la cuve d'électrolyse,
- la plus récente, dénommée CWPB (centre-worked pre-baked, 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 83 : Production d'aluminium par électrolyse en France (périmètre Kyoto)



Source CITEPA/format CCNUCC - mars 2022

Graph_2C.xlsx/Aluminium

4.4.1.4 Production de magnésium (2C4)

La production de magnésium n'est pas une catégorie clé.

Les émissions de CO₂ et de SF₆ engendrées lors de la décarbonatation de dolomie pour produire le magnésium sont comptabilisées dans le CRF 2C7. Les émissions de HFC de cette activité sont incluses dans le CRF 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 CRF 1A2b.

4.4.1.5 Production de zinc (2C6)

La production de zinc n'est pas une catégorie clé.

Au cours de la production de zinc, première et seconde fusion, certains procédés sont émetteurs de CO₂ 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 CO₂, 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 SF₆ et HFC de cette activité ainsi qu'aux émissions de CO₂ engendrées lors de la décarbonatation de dolomie pour produire le magnésium. 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 SF₆ 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 2001 et a transmis ses consommations de SF₆ [222].

Il y avait donc des émissions de SF₆ dues à des fuites lors de la production [222].

Le procédé de fabrication utilise la dolomie (CaMg(CO₃)₂) comme matière première ce qui engendre des émissions de CO₂ 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 SF₆ comme gaz inertant. Depuis 2009, du HFC-134a est utilisé sur un site en complément et substitution du SF₆.

➤ Décarbonatation dans les fonderies de fonte

Ce paragraphe permet d'introduire la méthode de calcul des différentes sources émettrices de CO₂ en termes de décarbonatation dans les fonderies de fonte.

Quatre sites de fonderie de fonte déclarent des émissions de CO₂ 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/fr/omine/>

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 SEQUE-UE¹³) [19], la fédération professionnelle [27] et le SESSI [53].

Les facteurs d'émission sont calculés d'après les informations relatives aux différents sites [19, 50] et aux caractéristiques des matières et procédés [27].

Il convient de noter que la distinction entre les émissions liées à la combustion (1A2a) et les émissions liées au procédé (2C1) est réalisée en fonction de l'atelier sidérurgique, des natures des intrants et de la prise en compte des lignes directrices pour la réalisation des inventaires.

¹³ SEQUE UE : Système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre de l'Union européenne, ou EU ETS : European union Emissions trading system

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 (le haut-fourneau) utilise du coke et des charbons comme agents réducteurs (matières premières → émissions liées au procédé) et des combustibles liquides et gazeux pour réchauffer l'air injecté à la base du haut-fourneau qui provoque la combustion des matières premières (émissions liées à la combustion). Des gaz de haut-fourneau issus de la transformation des matières premières sont produits et sont en partie réutilisés comme combustibles (apport énergétique) au sein du site intégré. Les émissions des gaz de haut-fourneau non valorisés et issues de la transformation des matières premières sont comptabilisées en procédé. La distinction est réalisée de différentes façons selon les substances considérées (cf. sections dédiées aux émissions par polluant). A partir de 2014, les données fournies par la fédération professionnelle [27] ne sont plus disponibles. Afin d'estimer les consommations de combustible pour chaque type de production (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 CO₂ 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 84 : Répartition des flux de combustibles et matières des installations sidérurgiques et des émissions de CO₂ associées

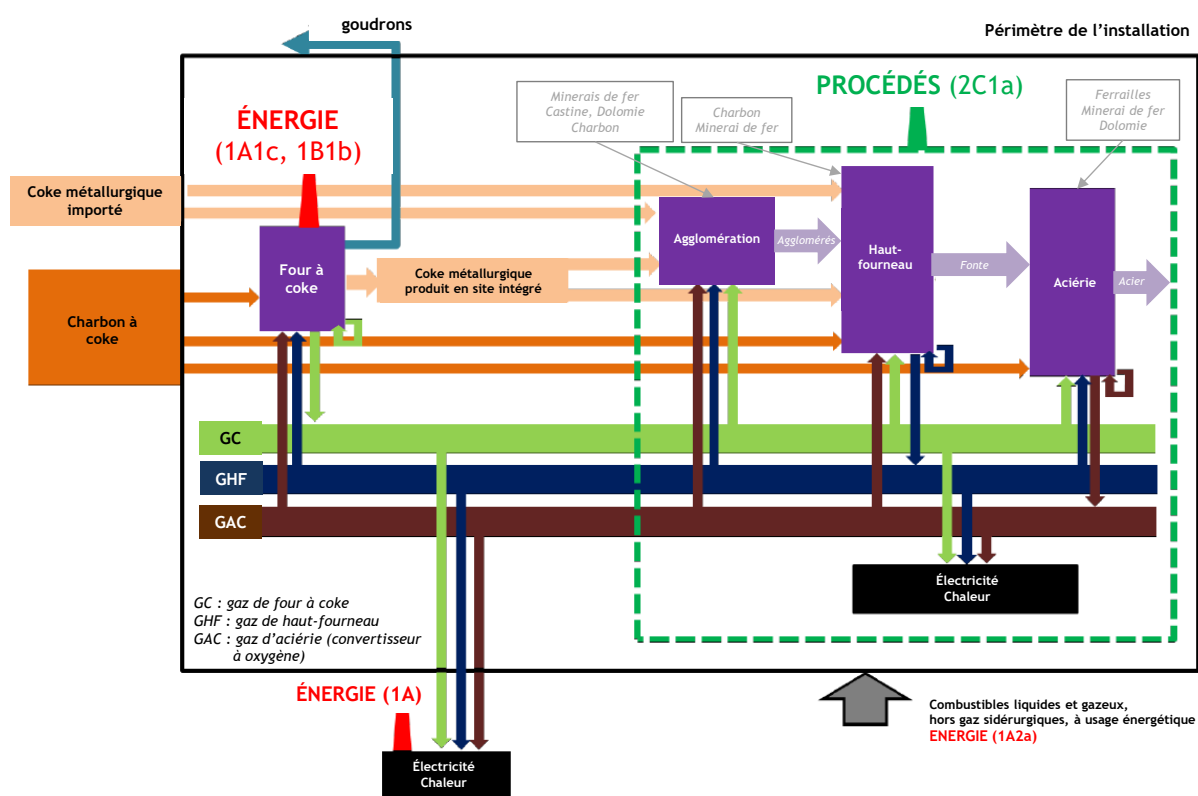


Schéma tiré des Lignes directrices du GIEC - Refinement 2019 (V3_CH04_Figure 4.8d), et adapté à la situation française

Emissions de CO₂

Les émissions de CO₂ 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 CRF 2C1, conformément aux lignes directrices du GIEC 2006.

Les émissions de CO₂ sont estimées de la façon suivante :

➤ *De 2005 à nos jours :*

$$\text{Equation 1 : } E_{\text{CO}_2 \text{ procédé (2C1)}} = E_{\text{CO}_2 \text{ totales SEQE}} - E_{\text{CO}_2 \text{ cokeries}} - E_{\text{CO}_2 \text{ combustion(liq,gaz)}} - E_{\text{CO}_2 \text{ GIC}}$$

Avec :

- $E_{\text{CO}_2 \text{ procédé (2C1)}}$: les émissions de CO₂ 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,
- $E_{\text{CO}_2 \text{ totales SEQE}}$: les émissions totales de CO₂ déclarées par les installations soumises au SEQE, depuis 2005,
- $E_{\text{CO}_2 \text{ cokeries}}$: les émissions de CO₂ issues des cokeries (affectées au secteur Energie 1A1c),
- $E_{\text{CO}_2 \text{ combustion}}$: Les émissions de CO₂ issues de la combustion des combustibles liquides et gazeux au sein des ateliers des aciéries (électriques et intégrées), hors production de chaleur ou d'électricité (affectées au secteur Energie 1A2a),
- $E_{\text{CO}_2 \text{ GIC}}$: les émissions de CO₂ 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 CO₂ 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 :

$$\begin{aligned} E_{\text{CO}_2 \text{ procédé (2C1)}} &= E_{\text{CO}_2 \text{ acier O}_2 \text{ (hors gaz nat, liq)}} + E_{\text{CO}_2 \text{ acier élec (hors gaz nat, liq)}} + E_{\text{CO}_2 \text{ autres ateliers (hors gaz nat, liq)}} \\ &= \text{Prod.}_{\text{acier O}_2} \times \text{FE}_{\text{CO}_2 \text{ moyen acier O}_2 \text{ (hors gaz nat, liq, hors cokerie) (2005-2011)}} \\ &\quad + \text{Prod.}_{\text{acier élec}} \times \text{FE}_{\text{CO}_2 \text{ moyen acier élec (hors gaz nat, liq) (2005-2018)}} \\ &\quad + \% \text{ moyen autres ateliers (hors gaz nat, liq)} \times E_{\text{CO}_2 \text{ totales}} \end{aligned}$$

Avec :

- $\text{FE}_{\text{CO}_2 \text{ moyens}}$: les FEs CO₂ moyens (aciéries O₂ et aciéries électriques) sont estimés grâce aux émissions de CO₂ et productions déclarées par les installations soumises au SEQE, avec :
 - $\text{FE}_{\text{CO}_2 \text{ moyen acier O}_2 \text{ (hors gaz nat, liq, hors cokerie) (2005-2011)}}$: pour les émissions des sites intégrés produisant de l'acier grâce un convertisseur O₂, 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.
 - $\text{FE}_{\text{CO}_2 \text{ moyen acier élec (hors gaz nat, liq) (2005-2018)}}$: pour le FE CO₂ moyen des aciéries électriques, la moyenne est prise sur la série temporelle 2005-2019.
- $\% \text{ moyen autres ateliers (hors gaz nat, liq)}$: pour le pourcentage moyen des autres ateliers, la moyenne est prise sur la série temporelle 2005-2018. Par manque d'information et de données d'activité, les émissions des autres ateliers sidérurgiques sont estimées grâce au total des émissions CO₂ dites « procédé » ($E_{\text{CO}_2 \text{ totales}}$), 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 CO₂ liées au procédé sont allouées au secteur CRF 2C1a - production d'acier.

La variation annuelle du facteur d'émission de CO₂ 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 quatre chaînes d'agglomération en France, une cinquième ayant été arrêtée fin 2011. Toutes utilisent de la *castine* comme fondant dans le procédé (les émissions de CO₂ 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 données de production d'agglomérés et de consommation de *castine* de ces sites, ainsi que les émissions associées, sont connues à la fois grâce aux déclarations annuelles de polluants [19] et aux bilans de la fédération professionnelle [27] depuis 2000. Avant cette date, faute de données, les consommations en castine sont déduites de la production d'agglomérés qui est connue. Les émissions de CO₂ sont calculées à partir du coefficient stœchiométrique de la castine (440 kg CO₂ / tonne de castine utilisée).

Les émissions de CO₂ 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 CRF 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 CO₂ 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 CRF 2C1a.

➤ *Convertisseurs à oxygène*

Les émissions de CO₂ 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 CRF 2C1a.

➤ *Aciéries électriques*

Les émissions de CO₂ 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 CRF 2C1a.

➤ *Autres procédés*

L'analyse des déclarations annuelles d'émission a permis la prise en compte des émissions de CO₂ 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 CO₂

sont issues des déclarations annuelles du site [19]. Seules des émissions de CO₂ sont considérées pour ce site.

Emissions de CH₄

Les ateliers « Agglomération de minerai », « Convertisseurs à oxygène » et « Aciéries électriques » sont considérés comme émetteurs de CH₄.

Comme pour le CO₂, les émissions de CH₄ 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 CRF 2C1 conformément aux lignes directrices du GIEC 2006.

➤ *Agglomération de minerai*

Les émissions de CH₄ 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.

➤ *Convertisseurs à oxygène*

Le calcul des émissions de CH₄ est effectué sur la base d'un facteur d'émission provenant du Guidebook EMEP / CORINAIR [17] et de la production d'acier par les convertisseurs à oxygène.

➤ *Aciéries électriques*

Le facteur d'émission est calculé sur la base de la production d'acier par les aciéries électriques et des déclarations annuelles à partir de 2006 [19]. Avant 2006, un facteur d'émission moyen calculé sur les années 2006-2008 est appliqué aux productions des années antérieures.

Emissions de N₂O

Pas d'émission attendue. Cf. section 1A2a.

Emissions de Gaz fluorés

Pas d'émission attendue.

4.4.2.2 Production de ferroalliages (2C2)

La production nationale de ferroalliages est connue via les déclarations annuelles des sites de métropole [19] à partir de 2005 et par d'autres sources d'information avant 2005 [50][418][958].

Les émissions sont déterminées au moyen de facteurs d'émission provenant de données des exploitants [19] [50] et de valeurs par défaut.

La méthode appliquée est de rang GIEC 1/2/3.

Emissions de CO₂

- Ferroalliages (hors ferrosilicium)

Métropole

Pour les procédés électriques, 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. Pour les procédés hauts fourneaux, il n'y a plus d'émissions depuis la fermeture du dernier site en 2003. Pour les années antérieures, le facteur d'émission provient des lignes directrices du GIEC 2006 [959].

Outre-Mer (périmètre CCNUCC)

Il existe deux sites en Nouvelle-Calédonie depuis l'ouverture d'une installation en 2013. Les facteurs d'émission sur la période sont calculés à partir des émissions connues pour les années 2005 et 2008 sur un site. Compte tenu du nombre limité de sites, les facteurs d'émission sont confidentiels.

- Ferrosilicium

Depuis 2013 :

Les données d'émissions de procédé et de consommation par réducteur proviennent des déclarations annuelles [19] sous forme de bilan matière. La part des émissions de procédé parmi les émissions totales est déterminée, le solde correspondant à de la combustion.

Entre 2003 et 2012 :

Les émissions de procédé par site sont recalculées à partir des émissions totales déclarées [19] et de la part moyenne des émissions 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 CH₄

- Ferroalliages (hors ferrosilicium)

Les émissions de CH₄ 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 N₂O sont négligées [950].

- Ferrosilicium

Les émissions de CH₄ 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 CO₂ et du FE CO₂ 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 CO₂

Les émissions de CO₂ 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 CO₂ sur un site de production d'aluminium primaire. Une petite partie des émissions de CO₂ 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. À 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 CO₂ 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 CO₂ liées à la consommation d'anodes précurtées sont calculées à partir des Lignes directrices du GIEC sur la base des données transmises par les exploitants [1208].

Emissions de Gaz fluorésSF₆

En règle générale, le procédé n'est pas émetteur de SF₆ 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 SF₆ 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 SF₆ 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 CF₄ et le C₂F₆.

De 1990 à 2004, les émissions de CF₄ et de C₂F₆ 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 CF₄ et de C₂F₆ proviennent de communications avec les exploitants [222]. À noter que pour un site fermé en 2008, les émissions de CF₄ et de C₂F₆ entre 2006 et 2008 sont estimées à partir des émissions globales de PFC déclarées et de la répartition CF₄/C₂F₆ de 2005.

Depuis 2013, la production d'aluminium primaire entre dans le champ du système d'échange de quotas d'émission [SEQUE] de gaz à effet de serre de l'Union européenne, les émissions distinctes de CF₄ et C₂F₆ 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.

Récapitulatif des données d'émissions pour les GES

	1990	2004-2005	2006-2007	2012-2013	
CO₂	Emissions estimées dans le cadre de l'AERES par les producteurs [222,742]	Déclarations annuelles de rejets GERE [19]		Déclarations annuelles de rejets GERE - Emissions déclarées au titre du SEQUE [19]	
PFC		Déclarations annuelles de rejets GERE [19]	Données internes communiquées pour tous les sites [19]		

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 CO₂, la méthodologie correspond à une approche bottom-up assimilée à un rang 3 puisque les émissions collectées sont déterminées à partir de la consommation d'anodes et d'analyses. Par ailleurs, depuis 2013 les exploitants appliquent le règlement UE n°601/2012 dont la méthode est basée sur les lignes directrices 2006 du GIEC.

Malgré le fait que la production, sur la période 1990-2002, provienne de données statistiques non détaillées par site, le facteur d'émission global de CO₂ 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 CO₂**

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 CO₂

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 CO₂ lié à la décarbonatation par tonne de magnésium produit. Les émissions de CO₂ induites par l'utilisation de dolomie résultent du produit de ces deux paramètres.

Le facteur d'émission de CO₂ 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

SF₆

La totalité du SF₆ 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 CRF (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 CO₂

Méthode mise en œuvre

Il convient de distinguer trois périodes :

A partir de 2020, les émissions de CO₂ proviennent directement des déclarations annuelles [19] pour les quatre sites recensés.

Entre 2013 et 2019 inclus : pour trois sites, les émissions de CO₂ 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 CO₂ 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.

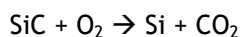
Facteurs d'émission CO₂

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.



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 2^{ème} 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 CO₂ et le CH₄ (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 CO₂ et le CH₄ (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 SF₆ (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 (CO₂) est réalisé au global.

Ratios de production	Lignes directrices 2006 du GIEC	Données inventaire 2020
t agglomérés / t fonte produite (haut-fourneau)	1,16	1,22
t fonte / t acier produit (four O ₂)	0,94	0,98

- **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) :**Facteurs d'émission CO₂ - 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
Silicomanganèse	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)	

Facteur d'émission CO₂ nationaux pour la production de ferroalliages en métropole

	1990	2000	2010	2020
Facteur d'émission CO₂ (t/t)	1,50	1,38	1,17	1,38

La production de ferroalliages en métropole étant dominée par la production de ferromanganèse, les facteurs d'émission nationaux sont en ligne avec ceux du GIEC 2006.

➤ **Production d'aluminium primaire (2C3) :**

Les facteurs d'émission nationaux sont cohérents avec les plages de valeurs des facteurs d'émission des lignes directrices 2006 du GIEC :

FE (kg/t d'Al produit)	Lignes directrices 2006 du GIEC	FE nationaux 1990	FE nationaux 2005	FE nationaux 2010	FE nationaux 2020
CO ₂	1 600 ±10 %	1 637	1 577	1 670	1 601
CF ₄	0,4 -99/+380 %	1,131	0,179	0,018	0,018
C ₂ F ₆	0,04 -99/+380 %	0,212	0,045	0,001	0,001

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 CF₄ et C₂F₆ au cours du temps.

4.4.5 Recalculs

Impact des recalculs du CRF 2C

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO ₂ e	22 105	18 737	19 827	18 723	20 239	20 200	16 856	10 401	13 725	13 159	12 176	14 016	13 521	12 820	13 323	14 582	13 950	13 448
Nouveau	kt CO ₂ e	22 106	18 738	19 829	18 722	20 239	20 200	16 858	10 399	13 722	13 159	12 176	14 017	13 526	12 826	13 329	14 587	13 952	13 462
Différence	kt CO ₂ e	+1,6	+0,63	+2,0	-1,7	+0,31	-0,61	+1,6	-1,9	-2,7	-0,77	-0,28	+0,17	+4,5	+6,3	+5,9	+5,8	+2,3	+14
	%	+0%	+0%	+0%	-0%	+0%	-0%	+0%	-0%	-0%	-0%	-0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%

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

Production de fonte et d'acier (2C1)

Description du recalcul

Suite à des communications avec l'exploitant, les émissions de CO₂ de 2018-2019 liées à l'usage non énergétique de coke de pétrole d'un site de ferroalliages (possédant une chaîne d'agglomération) ont été réallouées au four de production de ferroalliage (transfert du 2C1 vers 2C2). De plus, pour 2019, la production de coke en cokeries a été révisée, impactant indirectement les émissions du 2C1 qui sont basées sur les déclarations SEQE, auxquelles on soustraie entre autres les émissions des cokeries.

Enfin, sur la période 1990-2020, légère révision des émissions de CO₂ des grandes installations de combustion sur des sites sidérurgiques, qui sont soustraites, parmi d'autres, aux émissions totales rapportées du SEQE qui sont donc impactées en fonction (transfert entre 1A2a et 2C1).

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude et de l'exhaustivité.

Production de ferroalliages (2C2)

Description du recalcul

- Ferroalliages (hors silicium) : pour 2018-2019, ajout des émissions de CO₂ SEQE liées à l'usage non énergétique de coke de pétrole d'un site de production de ferroalliages suite à des communications avec l'exploitant (transfert du 2C1 vers le 2C2) ;

- Ferrosilicium : révision à la baisse des productions de ferrosilicium (avec et sans recyclage) d'un site sur 2012-2020, suite à une communication avec l'exploitant, impactant les émissions de CH₄ à la baisse sur toute la série 1990-2019 (environ -7% sur 1990-2018) ; pour 2019, en plus de cela, correction à la baisse également de la production d'un site, suite à une communication avec l'exploitant, entraînant une réduction des émissions de CH₄ (au total, -17% pour 2019).

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude et de l'exhaustivité.

Production d'aluminium primaire (2C3)

Description du recalcul

L'estimation des émissions de CO₂ liées à la consommation d'anodes lors de l'électrolyse a été revue à la hausse pour 2014-2019 pour un site de production d'aluminium primaire (impact mineur de + 0,4 à 1,0 % sur le total du CRF).

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude et de l'exhaustivité.

4.4.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report/ paragraph	MS response / status of implementation
IPPU	2.C.1 Iron and steel production - CH4 (I.8, 2019), (I.14, 2017) Comparability	Report CH4 emissions from sinter production under iron and steel production.	The Party reported in its NIR (p.326-330 and 337)/ that due to a revision of its methodology induced by a previous recommendation (I.11, 2019), it has allocated all relevant CO2 and CH4 emissions to 2C1, including CH4 from sinter production. However, the NIR does not contain a description on how these CH4 emissions from sinter have been estimated. During the review, the Party clarified that the methodology has not changed and is described in chapter 1A2a (p.186). The Party indicated that they will add "Sinter plants" in the workshops concerned by CH4 emissions and include the description of the methodology in chapter 2C1 for its next NIR. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet reported a methodology description for estimating CH4 emissions in the IPPU section.	2021 Review PMF* / I.4	Implemented. The CH4 emissions from sinter production have been reported in 2.C.1.a instead of 1.A.2.a. Indeed the GHG emission methodology has been revised, and the allocation of emissions are now compliant with the IPCC 2006 guidelines. In the IPPU section 2C, this has been completed by 15 March in line with the coming NIR.
IPPU	2.C.1 Iron and steel production - CO2 (I.10, 2019) (I.16, 2017) Accuracy	Collect data - from governmental agencies responsible for manufacturing or energy statistics, business or industry trade associations, or individual iron and steel companies - on the following national process materials for	The Party reported in its NIR (p.335) which source for AD data has been used. However, The Party did not report on the AD data itself. During the review, the Party clarified that activity data reported in the CRF tables for 2C1 is the sum of BOF steel and	2021 Review PMF* / I.5	Implemented. The CO2 emission estimation methodology has been revised for the new submission: EU ETS reports are now used to estimate CO2 emissions. All CO2 emissions related to process emissions, and related to the use of solid fuels (for the process and for combustion

		the entire time series: steel scraps, electrode consumption and pig iron for electric arc furnace steel production; steel scraps, iron ore and dolomite consumption for basic oxygen furnace steel production; iron ore and sinter consumed for pig iron production in blast furnaces; and iron ore consumed for sinter production, and include the AD in the country-specific model and provide new CO ₂ emission estimates.	EAF steel (provided by the steel federation until 2013 (the individual plants did not always report their production), and by the EU ETS/E-PRTR reports after 2013). The Party further clarified that AD is only used to calculate the IEF. The ERT considers that the recommendation has not yet been addressed because the Party has not yet reported AD on steel scraps, electrode consumption and pig iron for electric arc furnace steel production; steel scraps, iron ore and dolomite consumption for basic oxygen furnace steel production; iron ore and sinter consumed for pig iron production in blast furnaces; and iron ore consumed for sinter production.		(i.e. the consumption of iron and steel gases in iron and steel plants) are now reported in 2.C.1.a, except emissions from coke production which are still reported in 1.A.1.c. This methodology is now consistent with the 2006 IPCC guidelines. Explanations about these changes are already provided in the NIR 2021. As the methodology has changed, the AD reporting has changed too, and is in line with the new methodology described above.
--	--	--	---	--	--

4.4.7 Améliorations envisagées

Aucune amélioration particulière n'est envisagée pour la prochaine édition de l'inventaire.

4.5 Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants (CRF 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 CO₂ engendrées par l'utilisation d'urée).

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

Tableau 67 : Substances pour lesquelles le secteur 2D est source clé (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
2D3	CO ₂	-	-	-	-

4.5.1 Caractéristiques de la catégorie

4.5.1.1 Utilisation de lubrifiants (2D1)

Cette section couvre les émissions de CO₂ liées à l'utilisation de lubrifiants dans les moteurs 4 temps (consommation non énergétique). Les émissions liées aux moteurs 2 temps (consommation énergétique) sont considérées dans les chapitres relatifs aux différents secteurs du transport (routier, engins de l'agriculture, maritime, plaisance et petits engins du résidentiel/tertiaire).

4.5.1.2 Utilisation de paraffine (2D2)

Cette section couvre les émissions de CO₂ 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 CO₂ 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, pré laquage, 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.

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 l'utilisation domestique de solvants (autre que la peinture), de colles et de produits pharmaceutiques. 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). Dans les tables CRF, les émissions de ce secteur sont rapportées sous le code 2.G.4.

4.5.1.3.2 Autres (2D3-4)

Oxydateur de COVNM

Cette section couvre les émissions de CO₂ 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 CO₂. 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.

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/fr/ominea/>

4.5.2.1 Utilisation de lubrifiants (2D1)

Les lubrifiants sont utilisés dans les moteurs pour réduire les frottements des pièces mécaniques et leur usure précoce.

Ces lubrifiants peuvent être utilisés :

- Dans les moteurs 2 temps : ils sont mélangés à l'essence dans la chambre de combustion et sont donc considérés comme une consommation énergétique. C'est pour cela que ces consommations et émissions sont prises en compte dans les secteurs consommateurs (cf. transport routier, transport fluvial, transport maritime, résidentiel, agriculture / sylviculture / activités halieutiques).
- Dans les moteurs 4 temps : ils remontent du carter moteur dans la chambre de combustion en petite quantité correspondant à une consommation non énergétique.

La quantité totale de lubrifiants utilisés en France est obtenue à partir du bilan de l'énergie produit annuellement par le SDES [25].

Les quantités consommées par les moteurs 2 temps sont soustraites de la quantité nationale pour obtenir la quantité de lubrifiants destinés aux usages non énergétiques (moteurs 4 temps notamment).

Les quantités de lubrifiants liées aux moteurs 4 temps du transport routier sont estimées à partir du modèle COPERT, leurs émissions sont directement rapportées dans utilisation de lubrifiants (2D1).

Emissions de CO₂

L'utilisation de lubrifiants dans les moteurs 4 temps est émettrice de CO₂.

Le facteur d'émission de CO₂ 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 :

$$FE_{CO_2} = CC_{\text{lubricant}} \times ODU_{\text{lubricant}} \times \text{masse molaire } CO_2 / \text{masse molaire C}$$

Où :

CC lubricant : contenu carbone des lubrifiants (valeur GIEC par défaut = 20 kg C/GJ)

ODU lubricant : taux d'oxydation pendant l'utilisation (valeur GIEC par défaut = 20 %)

masse molaire CO₂ : 44 g/mol

masse molaire C : 12 g/mol

Le facteur d'émission utilisé est donc de 14,7 kg CO₂/GJ, et il est converti en kg CO₂/t de produit à partir du PCI moyen des lubrifiants.

Les consommations de lubrifiants sont présentées dans le tableau suivant :

	1990	2000	2005	2010	2015	2019	2020
Total 2 temps + 4 temps métropole (t)	933 000	889 000	769 000	621 000	580 000	537 250	538 480
Total 2 temps métropole (énergétique) (t)	6 886	6 773	6 527	6 454	6 359	6 472	6 136
Total 4 temps métropole (non énergétique) (t)	926 114	882 227	762 473	614 546	573 641	530 778	532 344
Total 4 temps DOM (non énergétique) (t)	17 960	17 221	13 403	8 236	5 733	3 412	6 029

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 CO₂

Le facteur d'émission de CO₂ 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 :

$$FE_{CO_2} = CC_{\text{lubricant}} \times ODU_{\text{lubricant}} \times \text{masse molaire } CO_2 / \text{masse molaire C}$$

Où :

CC lubricant : contenu carbone des lubrifiants (valeur GIEC par défaut = 20 kg C/GJ)

ODU lubricant : taux d'oxydation pendant l'utilisation (valeur GIEC par défaut = 20 %)

masse molaire CO₂ : 44 g/mol

masse molaire C : 12 g/mol

Le facteur d'émission utilisé est donc de 14,7 kg CO₂/GJ, et il est converti en kg CO₂/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 le solvant le plus utilisé mais 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 suite à 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 statistiques nationales de production, de consommation, d'import et d'export [53, 115, 351, 686, 749, 974].

Pour la fabrication d'encre, peintures et colles, la même méthodologie est utilisée. Les données d'activité proviennent des statistiques nationales [111, 351].

En ce qui concerne les productions de pneumatiques et la mise en œuvre de caoutchouc, les activités sont disponibles auprès de la profession [116].

Les consommations de solvants utilisés dans la fabrication de produits pharmaceutiques proviennent d'une enquête auprès des professionnels du secteur [117] et des déclarations annuelles des rejets des industriels [19].

La consommation de solvants utilisés dans la fabrication de supports adhésifs ainsi que les émissions découlent directement du traitement des déclarations annuelles de rejets des industriels [19] (consommation de solvants déclarée ou déduite de la production de l'usine).

En ce qui concerne la fabrication et la mise en œuvre des autres produits chimiques (en chimie fine et parachimie), quatre sous-secteurs sont définis :

- la production de produits à l'origine d'émissions de COVNM de la chimie fine hors pharmacie,
- l'extraction des arômes alimentaires ou de parfumerie,
- la production de savons et détergents à l'origine d'émissions de particules,
- diverses activités difficilement classables dans un secteur particulier.

Pour les procédés émetteurs de COVNM, les émissions sont déterminées à partir des déclarations annuelles de rejets des industriels [19] depuis 2004. Pour les années antérieures, les émissions sont estimées site par site suivant les activités, le niveau observé en 2004 et la mise en place de système de traitement des émissions de COVNM. Pour les procédés émetteurs de particules, les activités proviennent des statistiques publiées par l'UIC [118] et les émissions sont calculées à partir d'un facteur d'émission.

Autres utilisations de solvants (émissions rapportées sous le code 2.G.4)

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, 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 [968], 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 représentée par la population [96].

Emissions de CO₂

Les émissions de CO₂ traduisent la transformation du carbone contenu dans les émissions de COVNM en CO₂ ultime.

Cette conversion se fait sur la base de la teneur en carbone calculée à partir de la spéciation des COVNM, c'est-à-dire en fonction des substances émises par sous-secteur. La teneur en carbone globale des émissions de COVNM induites via cette nouvelle méthodologie est proche de 70 % sur toute la période et est cohérente avec les valeurs par défaut des lignes directrices 2006 du GIEC (50-70 %) [772].

Pour les sous-secteurs du nettoyage à sec et du dégraissage de surface, les teneurs en carbone sont respectivement estimées à environ 15 % et 27 %. Concernant l'application de peinture, les teneurs en carbone varient entre 70 % et 90 % selon le sous-secteur.

Les principales réductions d'émissions ont eu lieu dans le secteur de l'application de peinture (grâce à une baisse de l'activité et une réduction de la teneur en solvant des peintures), du dégraissage et du nettoyage à sec (amélioration du recyclage et renouvellement des matériels). La mise en place de deux directives européennes a fortement contribué à réduire les émissions de COVNM :

- la directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de COV dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations. Cette directive, (abrogée et reprise en annexe de la directive 2010/75/UE depuis 2014), limite les émissions diffuses et canalisées d'une vingtaine d'activités industrielles ou artisanales (application de revêtement, nettoyage à sec, dégraissage des métaux, etc.),
- la directive 2004/42/CE du 21 avril 2004 relative à la réduction des émissions de COV dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicules et modifiant la directive 1999/13/CE. Cette directive limite le taux de solvant contenu dans les peintures bâtiment et réparation automobile. Une réduction en deux étapes a eu lieu, la première en 2007 et la seconde en 2010.

4.5.2.3.2 Autres (2D3-4)

Oxydateur de COVNM

Les données issues des déclarations des industriels permettant d'estimer la quantité de COVNM détruits transformés en CO₂ par oxydation sont de deux types :

- des plans de gestion de solvants (PGS) ;
- ou directement des émissions de CO₂ 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 CO₂.

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.

À partir de 2013, les émissions de CO₂ 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 CO₂

La destruction par oxydation ou incinération de COVNM est à l'origine d'émissions de CO₂ car les composés organiques sont oxydés et convertis en CO₂.

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

Cette section concerne les émissions de CO₂ induites par l'utilisation d'urée au sein de plusieurs applications :

- Utilisation d'urée par les systèmes de traitement des NOx (déNOx) de type SCR (Réduction sélective catalytique) par certaines centrales thermiques,
- Utilisation d'urée par les systèmes de traitement des NOx de type SCR par les véhicules routiers,
- Utilisation d'urée par les systèmes de traitement des NOx 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.

Emissions de CO₂

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). Un seul site est concerné en France métropolitaine et quelques sites en Outre-mer.

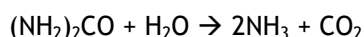
Les données de consommation d'urée et les émissions de CO₂ associées sont connues, pour les centrales thermiques qui en consomment, via leur déclaration annuelle de polluants [19] dans le cadre du SEQUE. Ces données ne sont disponibles que certaines années. Seules les années où la donnée est déclarée sont retenues.

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 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ et quand il est injecté en amont d'un catalyseur d'hydrolyse dans la ligne d'échappement, la réaction suivante a lieu :



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/cm³.

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 1000 km

Véhicules EURO V SCR : consommation d'urée = 6 % de la consommation de carburant

Véhicules EURO VI (tous SCR) = 3,5 % de la consommation de carburant.

Le facteur d'émission de 23,8 kg CO₂/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 CO₂).

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 CO₂ exprimés en kg CO₂/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 CO₂ exprimés en kg CO₂/t urée sont disponibles dans la base de données OMINEA (déterminé par bilan massique).

4.5.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2^{ème} niveau de la catégorie (i.e. 2D).

Les incertitudes associées à cette catégorie sont liées au caractère diffus des émissions et de la multiplicité des composés et secteurs entrant en compte.

Ainsi, l'incertitude concernant l'activité est estimée à 15 % pour le CO₂ et 20 % pour le CH₄ et le N₂O. Concernant les facteurs d'émission, l'incertitude est de 40 % pour le CO₂ et 100 % pour le CH₄ et le N₂O.

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 CRF 2D

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	2 041	1 912	1 954	1 807	1 598	1 688	1 480	1 282	1 349	1 338	1 251	1 244	1 309	1 163	1 179	1 026	1 125	1 015	0
Nouveau	kt CO ₂ e	2 051	1 920	1 963	1 813	1 605	1 696	1 487	1 284	1 351	1 341	1 253	1 261	1 325	1 179	1 193	1 001	1 113	1 012	1 070
Différence	kt CO ₂ e	+9,8	+8,0	+9,0	+5,8	+7,0	+7,9	+7,3	+2,7	+2,3	+2,6	+1,6	+17	+16	+15	+13	-25	-12	-3,1	+1 070
	%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+1%	+1%	+1%	+1%	-2%	-1%	-0%	-

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

Des recalculs des émissions de CO₂ ont été réalisés pour les secteurs suivants.

4.5.5.1 Utilisation de lubrifiants (2D1)

Description des recalculs

La population (MT, DOM et TOM) ainsi que la consommation de lubrifiants 2 temps (énergétique) ont été mises à jour sur toute la série temporelle.

Raison et justification

Amélioration de la cohérence temporelle.

4.5.5.2 Utilisation de paraffines (2D2)

Description des recalculs

La population (MT, DOM et TOM) a été mise à jour sur toute la série temporelle.

Raison et justification

Amélioration de la cohérence temporelle.

4.5.5.3 Autres (2D3)

4.5.5.3.1 Utilisation de solvants (2D3-1)

Description des recalculs

Pour la fabrication et mise en œuvre de produits chimiques - autres, 11 sites ont été ajoutés.

Pour la production de produits pharmaceutiques : 12 sites ont été ajoutés.

Pour l'activité peinture, l'évolution des ventes de peintures pour la période 2017-2020 a été intégrée (source données : FIPEC).

Raison et justification

Amélioration de l'exhaustivité.

4.5.5.3.2 Autre (2D3-4)

Description des recalculsOxydateur de COVNM

Les données des flux O1 (émissions canalisées) et O5 (solvants détruits par un équipement) des Plans de Gestion de Solvants (PGS) ont été mises à jour jusqu'à 2013

Utilisation d'urée

Aucun changement.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude et de la cohérence temporelle.

4.5.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report/ paragraph	MS response / status of implementation
IPPU	2.D Non-energy products from fuels and solvent use - indirect CO2 Completeness	The Party reported in its NIR (p.x) that it reports indirect CO2 from the atmospheric oxidation of NMVOCs from solvent use in 2.D.3. and IE in table 6 for indirect CO2 emissions for IPPU. Moreover, the Party is not reporting the national totals with and without indirect CO2 emissions. However, according to the UNFCCC	The ERT recommends that the Party, when estimating indirect CO2 emissions, to report national totals with and without indirect CO2 in their next submission.	2021 Review PMF* / I.22	Issue taken into account. The NIR 2022 includes one additional explanations on this issue, cf. NIR 2022 section 9.1 : Following the recommendation by the EU WG1, indirect CO2 emissions from NMVOC emissions from solvents are reported in the 2D3 (instead of table 6). since there are no other indirect emissions in the French inventory than those included elsewhere, the CRF table 6 related to indirect

		reporting guidelines, for Parties that decide to report indirect CO ₂ the national totals shall be presented with and without indirect CO ₂ . The ERT noted that this is not in accordance with [the 2006 IPCC Guidelines. During the review, the Party clarified that change the notation key IE in the table 6 for indirect CO ₂ emissions for IPPU in the next submission. However, the Party did not indicate that they will report national totals with and without indirect CO ₂ in their next submission.			emissions does not include any indirect emissions numbers. So, the CRF Reporter automatically displays that there is no national total with indirect emissions in the table "Summary 2" ("NA" for not applicable).
--	--	--	--	--	--

4.6 Industrie électronique (CRF 2E)

L'industrie des semi-conducteurs utilise des HFC, PFC, SF₆ et NF₃ lors de la gravure des plaques de silicones et des dépôts en phase gazeuse dans les chambres CVD (Chemical Vapor Deposition). Les gaz fluorés peuvent également être utilisés lors de la fabrication de panneaux photovoltaïques.

4.6.1 Caractéristiques de la catégorie

4.6.1.1 Fabrication de semi-conducteurs (2E1)

Ce secteur n'est pas une catégorie clé.

Il existe moins d'une dizaine de sites de production de semi-conducteurs en France métropolitaine. A noter que ce secteur est le seul en France à consommer et émettre du NF₃.

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 CO₂ équivalent ayant été supérieure à 40 %.

Différents gaz fluorés sont utilisés : HFC-23, CF₄, C₂F₆, C₃F₈, SF₆ et NF₃.

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 (CF₄) en France de 1992 à 2011. A partir de 2012 le CF₄ a été substitué et n'est plus utilisé.

Les émissions sont rapportées dans le CRF 2E1.

4.6.1.4 Fluides de transfert de chaleur (2E4)

Le C₆F₁₄ 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 CRF Table2(II)B-Hs2. Les émissions sont rapportées en CO₂e.

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/fr/omine/>

4.6.2.1 Fabrication de semi-conducteurs (2E1)

La méthode appliquée est de rang GIEC 2a.

Le SITELESC, syndicat regroupant les fabricants de semi-conducteurs, a réalisé annuellement une enquête sur les consommations et les émissions de gaz fluorés des installations jusqu'en 2014 [213]. Depuis 2014, les émissions et données d'activités sont transmises directement par les industriels.

Les facteurs d'émission induits pour chaque type de gaz fluorés sont calculés comme étant le rapport émissions/consommations.

4.6.2.2 Fabrication de panneaux photovoltaïques (2E3)

Les émissions et consommations de CF₄ 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. CRF 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 2^{ème} 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 SF₆ et le NF₃.

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. Suite à 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

Impact des recalculs du CRF 2E

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO ₂ e	303	387	694	442	427	339	319	198	220	249	159	100	97	82	108	131	105	101
Nouveau	kt CO ₂ e	303	387	694	442	427	339	319	198	220	249	159	100	97	82	108	131	105	101
Différence	kt CO ₂ e	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%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

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

4.6.5.1 Fabrication de semi-conducteurs (2E1)

Description des recalculs

Pas de recalcul.

4.6.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration prévue.

4.7 Consommations d'halocarbures et SF6 (CRF 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 CRF 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 2020 (voir figure ci-dessous) il représente 85 % des émissions totales CO₂ équivalentes de gaz fluorés en France métropolitaine. Le secteur des aérosols (techniques et pharmaceutiques) est le deuxième contributeur, pour environ 4,5 %.

Figure 85 : Répartition sectorielle des émissions CO₂ équivalentes de gaz fluorés en 2020 (France métropolitaine)

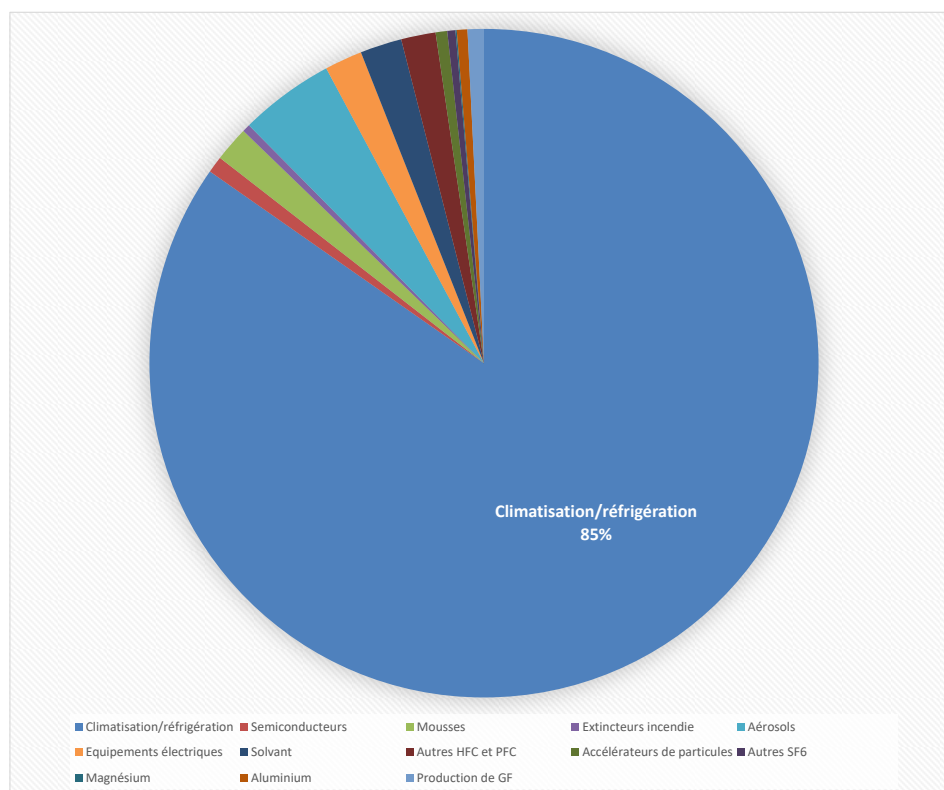


Figure 86 : Répartition sectorielle des émissions CO₂ équivalentes de gaz fluorés en 2020 hors secteur climatisation/réfrigération (France métropolitaine)

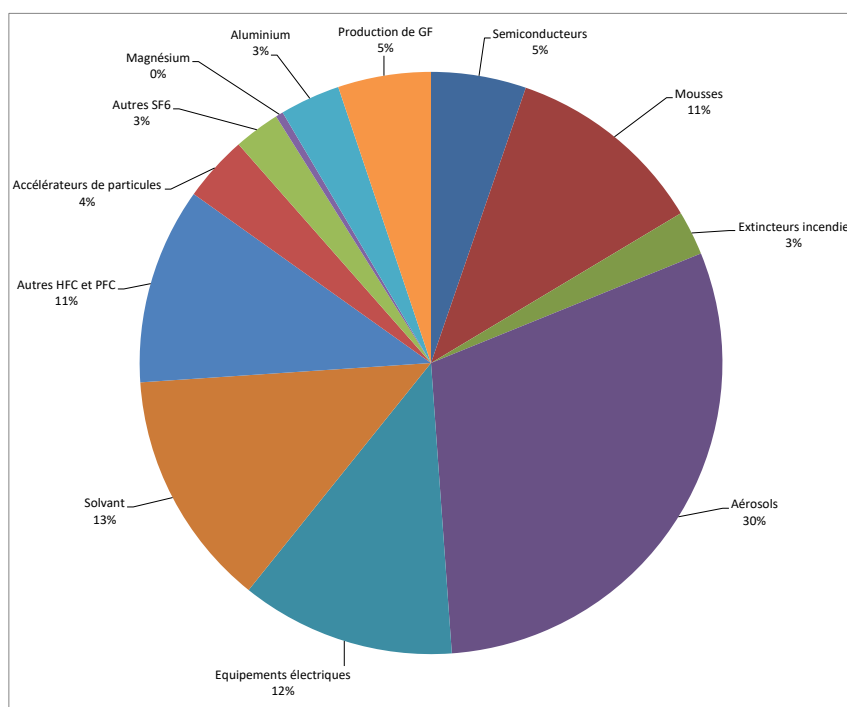
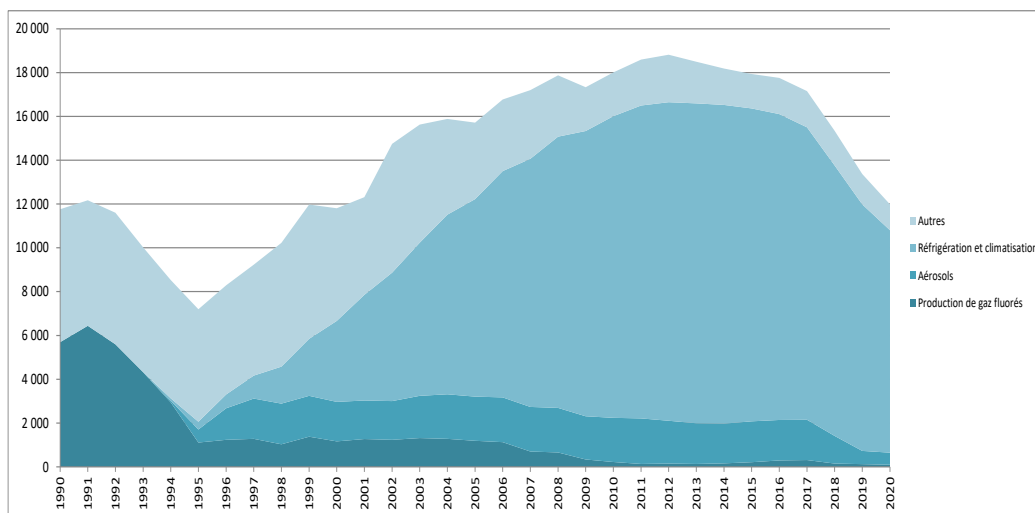


Figure 87 : Evolution des émissions de gaz fluorés de 1990 à 2020 (France métropolitaine, en Gg CO₂e)



La figure ci-dessus présente l'évolution des émissions de gaz fluorés par grand secteur. Du fait de la transition des CFC et HCFC vers les HFC, la part du secteur froid et climatisation a été en forte croissance depuis les années 90 puis relativement stable de 2012 à 2016. Depuis 2017 une forte décroissance des émissions de ce secteur est observée. Elle s'explique d'une part par une réduction significative des émissions de R-134a du secteur climatisation mobile, du fait du renouvellement progressif du parc automobile vers des systèmes utilisant le HFO-1234yf (PRG = 4, hors inventaire) et, d'autre part, par la réduction de l'usage du R-404A (PRG 3900) du fait de la réglementation (EU) 517/2014 et de l'approche de l'échéance de 2020 réduisant les possibilités d'utilisation des fluides frigorigènes de PRG>2500 aux seuls fluides régénérés.

4.7.1.1 Air conditionné et réfrigération (2F1)

Tableau 68 : Substances pour lesquelles le secteur 2F1 est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
2F1	HFC	9 ^{ème}	2,7%	4 ^{ème}	5,4%

Les HFC sont utilisés comme fluides frigorigènes dans différents types d'équipements de réfrigération et de climatisation. En se basant sur la structuration proposée dans le dernier rapport RTOC 2018 de l'UN Environment et sur la structuration des données disponibles en France, huit grands secteurs d'équipements sont considérés :

- Les applications domestiques (anciennement Réfrigération domestique),
- 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 pris en compte et décomposés en sous-secteurs d'équipements.

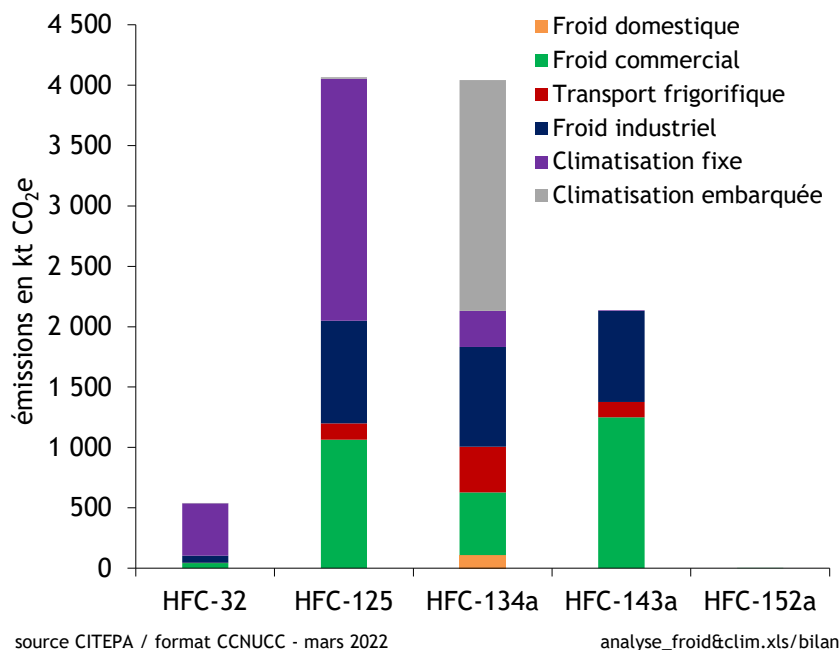
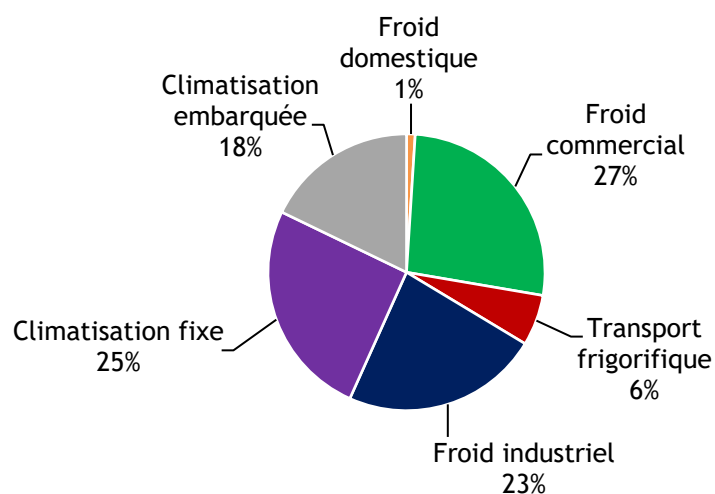
Quatre sources d'émissions sont à considérer :

- Les émissions à la charge des équipements,
- Les émissions pendant la durée de vie des équipements,
- 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.

Comme il le sera détaillé par secteur, 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 des mélanges (HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, de HFC-152a et de certains HFO, hydrocarbures (HC) ou CO₂).

Au cours du temps, plusieurs réfrigérants ont été utilisés dans les équipements de climatisations et réfrigérations : les substances appauvrissant la couche d'ozone (CFC et HCFC) ont été progressivement remplacées par les HFC. Ces derniers ayant des valeurs de PRG élevées, ils sont amenés à être remplacés par les HFO (HFC à bas PRG) ou par d'autres fluides frigorigènes non fluorés ayant un plus faible impact sur le climat.

Les graphiques suivants détaillent les contributions sectorielles, en 2020, aux émissions de HFC de cette catégorie :

Figure 88 : Distribution des émissions de HFC en CO₂e du CRF 2F1 en 2020 (périmètre Kyoto)Figure 89 : Contribution des secteurs aux émissions de HFC en CO₂e de la catégorie CRF 2F1 en 2020 (périmètre Kyoto)

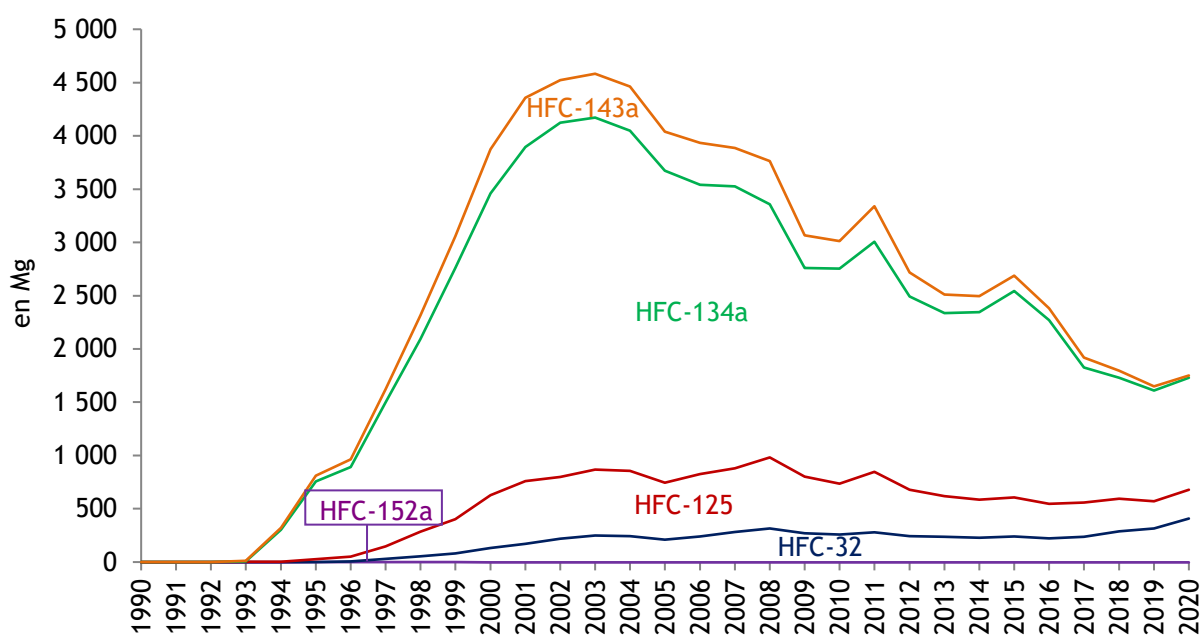
Parmi les fluides frigorigènes utilisés par les secteurs du froid et de la climatisation se trouvent des HFC purs et des mélanges de HFC. Les PRG des principaux mélanges sont les suivants :

Tableau 69 : Composition et PRG (4^{ème} AR) des principaux fluides frigorigènes commerciaux

Mélanges	HFC-32	HFC-125	HFC-134a	HFC-143a	HFC-152a	PRG (AR4) en éq. CO ₂
R-404A		44%	4%	52%		3 922
R-407C	23%	25%	52%			1 774
R-410A	50%	50%				2 088
R-507		50%		50%		3 985
R-417A		46,6%	50%			2 346
R-422A		85%	11,5%			3 143
R-422D		65,1%	31,5%			2 729
R-427A	15%	25%	50%	10%		2 138
R-407A	20%	40%	40%			2 107
R-407F	30%	30%	40%			1 825
R-448A	26%	26%	21%			1 386
R-450A			42%			601
R-452A	11%	59%				2 139

Les graphiques suivants présentent l'évolution des quantités de HFC contenus dans les équipements neufs puis celle de la banque, soit les quantités contenues dans les équipements en fonctionnement (le parc d'équipements).

Figure 90 : Évolution du besoin en HFC pour la production et la charge des équipements neufs (périmètre Kyoto)



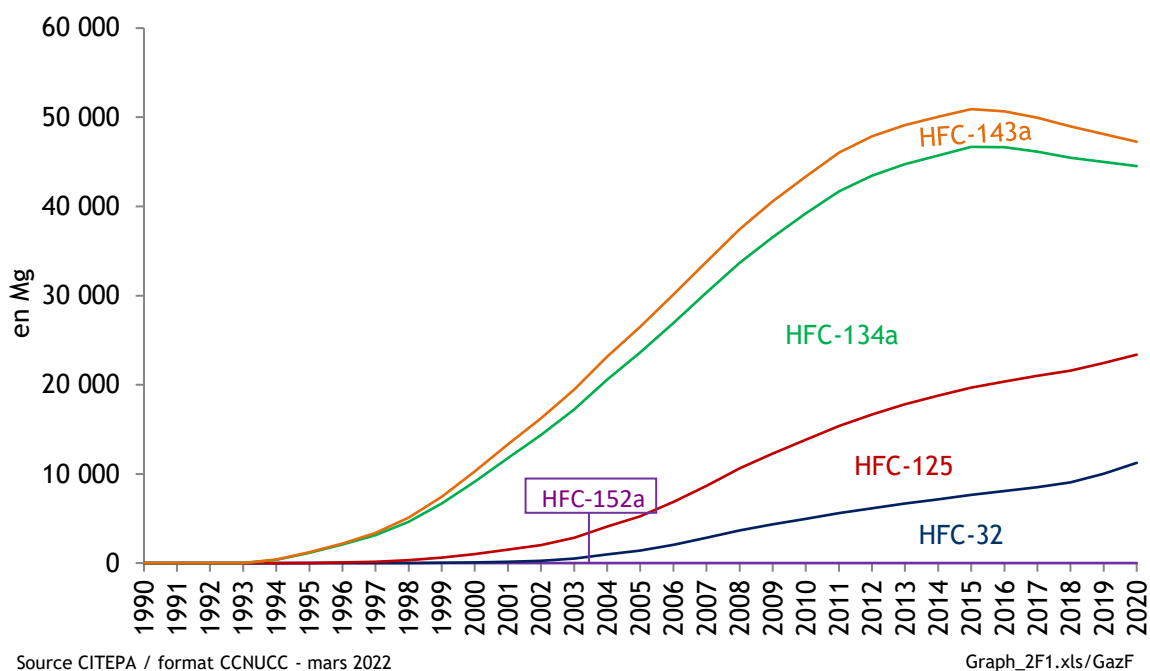
Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

Graph_2F1.xls/GazF

L'évolution du besoin en HFC pour les équipements neufs pour l'ensemble des secteurs de la réfrigération et de la climatisation montre une forte augmentation du HFC-134a jusqu'en 2002 à la suite de l'interdiction des CFC et des HCFC. En 2008 et 2009, les quantités de HFC-134a chargées ont fortement diminué particulièrement dans la climatisation automobile, en raison de la diminution de la production des véhicules particuliers et utilitaires légers en France et de la tendance à la réduction des charges nominales des véhicules. A partir de 2017, une forte baisse de la demande est constatée pour le HFC-134a et le HFC-143a. Cette baisse s'explique par la diminution de la demande en R-404A dans les installations neuves du froid commercial et par l'arrêt de l'utilisation du R-134a dans les

climatisations mobiles des véhicules neufs particuliers depuis le 1^{er} Janvier 2017, du fait notamment des réglementations européennes mises en œuvre (règlement n° 517/2014 et 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 retrofit des installations du froid.

Figure 91 : Évolution des quantités de gaz contenus dans les équipements en fonctionnement (périmètre Kyoto)



Le HFC-134a est le fluide frigorigène le plus présent dans les installations de réfrigération et de climatisation en fonctionnement, qu'il soit utilisé seul ou en mélange. Il est principalement utilisé dans le secteur de la climatisation embarquée mais il n'est plus autorisé dans les véhicules particuliers mis sur le marché européen depuis le 1^{er} Janvier 2017. En froid domestique, la banque de R-134a est également en forte réduction depuis 2007 en raison du renouvellement progressif des équipements vers le R-600a (qui est, depuis le 1^{er} Janvier 2015, le seul fluide frigorigène autorisé à être mis sur le marché européen dans les équipements de froid domestique).

4.7.1.2 Mousses isolantes (2F2)

En 2020, ce secteur n'est pas une catégorie clé.

Les HFC se sont substitués aux HCFC au début des années 2000 suite à l'interdiction de l'usage de ces derniers. Les applications principales sont les suivantes :

- Chauffe-eau,
- Isolation des bâtiments,
- Transport frigorifique.

Il existe deux familles de mousses : les mousses à alvéoles fermées et les mousses à alvéoles ouvertes. Parmi les mousses à alvéoles fermées, deux types sont considérés : les mousses alvéolaires de type polyuréthane PU (panneau continu ou discontinu, polyuréthane projeté - Spray Polyurethane Foam ou SPF -, etc.) et les mousses alvéolaires de type polystyrène extrudé (XPS). En France, deux types de mousses à alvéoles ouvertes ont été ou sont utilisées (les mousses à composant unique OCF et les

mousses à peau intégrée PU mises en œuvre notamment dans le secteur automobile pour la production de pièces moulées en polyuréthane telles que les volants ou les boîtes de vitesse).

Différents types de HFC sont utilisés en fonction du secteur d'application et de la famille de mousse. Le tableau suivant récapitule les agents d'expansion par secteur en France, les bâtiments incluant les mousses alvéolaires de type polystyrène extrudé et polyuréthane (SPF et panneau sandwich) :

Agent d'expansion	Chauffe-eau	Bâtiment	Transport frigorifique	OCF	Automobile	Production de systèmes polyuréthane
HFC-134a		x		x		x
HFC-227ea		x	x		x	x
HFC-365mfc		x	x		x	x
HFC-152a		x				
HFC-245fa	x	x	x			x
HC	x	x	x	x	x	
HFO-1233zd						x
HFO-1234ze	x	x				
HFO-1336mzz						x
CO ₂		x				

Depuis 2009, il n'y a plus d'émission de HFC associée aux mousses OCF après l'interdiction de mise sur le marché des HFC dans ce type d'application par le règlement n° 842/2006/CE relatif aux gaz fluorés.

Les émissions de HFC ont lieu lors de la fabrication, pendant la durée de vie des équipements et en fin de vie. Les émissions en fin de vie sont apparues depuis 2015 dans le secteur des chauffe-eaux.

Les émissions de HFC des formulateurs de systèmes polyuréthane sont également prises en compte.

Des HFC à très bas PRG (HFO), appelés fluides de 4^{ème} génération, sont utilisés depuis peu dans ce secteur en remplacement des HFC. Les ventes de HFC à fort PRG (HFC-245fa et mélange HFC-365mfc/HFC-227ea) utilisés dans les applications autres que les mousses en polystyrène extrudé (XPS) sont en baisse depuis 2018, du fait de la prochaine interdiction de mise sur le marché en 2023 des mousses contenant des HFC dont le PRG est supérieur ou égal à 150 par la réglementation F-gas n° 517/2014. De même, l'interdiction de mise sur le marché de mousses en polystyrène extrudé utilisant des HFC de PRG supérieur ou égal à 150 depuis le 1er janvier 2020 explique l'arrêt de l'utilisation du HFC-134a dans cette application en France depuis 2018.

Il est considéré qu'il n'y a pas de HFC utilisés dans les territoires d'Outre-mer pour ces secteurs.

4.7.1.3 Extincteurs (2F3)

Ce secteur n'est pas une catégorie clé en 2020.

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.

4.7.1.4 Aérosols (2F4)

Tableau 70 : Substances pour lesquelles le secteur 2F4 est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
2F4	HFC	-	-	54 ^{ème}	0,3%

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.

4.7.1.5 Solvants (2F5)

En 2020, ce secteur n'est pas une catégorie clé.

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 CO₂e 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 CRF Table2(II)B-Hs2.

De même, les émissions de C_6F_{14} des solvants sont rapportées en CO₂e 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 CRF Table2(II)B-Hs2.

Il est considéré qu'il n'y a pas de HFC utilisés dans les territoires d'Outre-mer.

4.7.1.6 Autres applications (2F6)

En 2020, ce secteur n'est pas une catégorie clé.

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 CO₂e 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 CRF *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/fr/omine/>

4.7.2.1 Air conditionné et réfrigération (2F1)

La méthode de calcul des émissions de HFC développée par le Citepa dans son Outil Gaz Fluorés s'inscrit dans la continuité de la méthode utilisée par le CES de MINES-ParisTech [207] qui était utilisée jusqu'aux inventaires 2016.

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 banque¹⁴ 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.

¹⁴ 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 réglementations 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).

E_Totales = E_charge + E_duree-de-vie + E_fin-de-vie + E_conteneurs	(1.2F1)
--	----------------

Les lignes directrices ne mentionnent pas les émissions liées aux retrofits¹⁵ d'installations, qui peuvent être incluses dans les émissions au cours de la durée de vie.

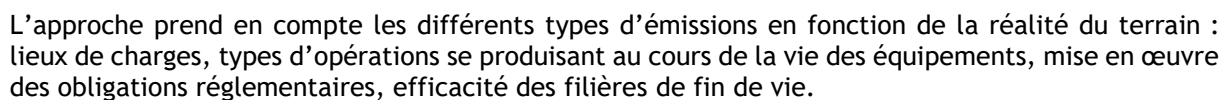
Dans l'approche Tier2a, les facteurs d'émission sont appliqués aux données d'activité. Leur estimation peut se faire de différentes façons, selon les données disponibles et être spécifiques. Le GIEC met à disposition des gammes de facteurs d'émission.

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

¹⁵ Un retrofit est une conversion d'un équipement utilisant un fluide frigorigène vers un autre fluide frigorigène, pour des raisons essentiellement liées à la réglementation.



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

$$E_{charge, t} = M_t \cdot \frac{k}{100}$$

Where:

$E_{charge, t}$ = emissions during system manufacture/assembly in year t , kg

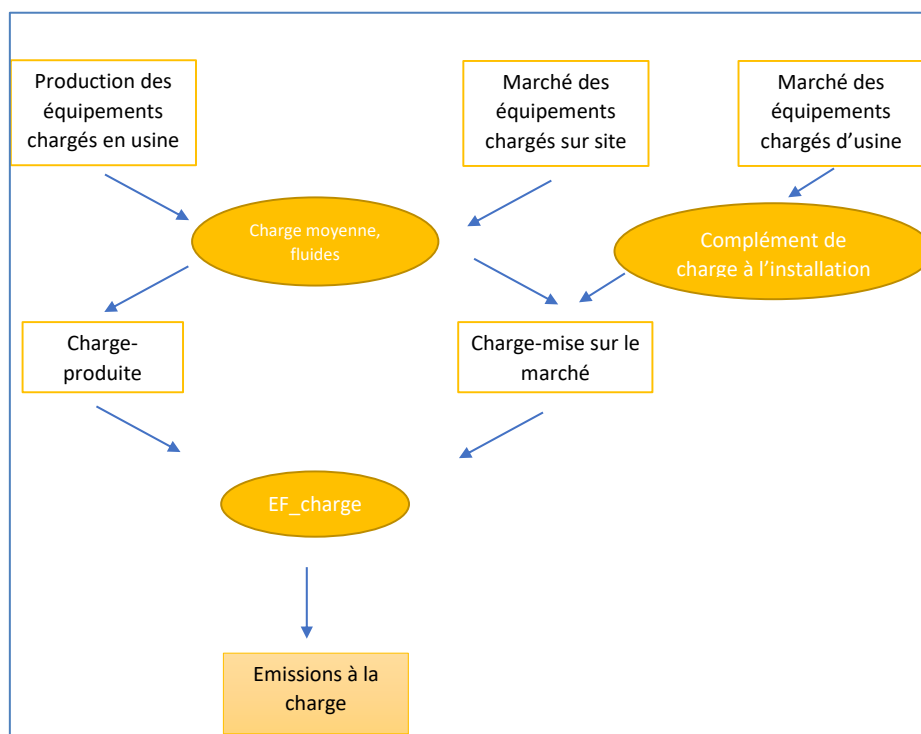
M_t = amount of HFC charged into new equipment in year t (per sub-application), kg

k = emission factor of assembly losses of the HFC charged into new equipment (per sub-application), percent

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.



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).

$$E_charge(i,j) = EF_charge(i) * [A_k * Charge_{produite}(i,j) + [(1-A_k) + A_k * B_k] * Charge_{mise-sur-marche}(i,j)] \quad (2.2F1) \quad \text{Avec :}$$

EF_charge : Facteur d'Emission à la charge

$$Charge_{produite}(I,j) = Equipment_production(i) * Refrigerant_production_share(i,j) * Average_charge(i,j) \quad (3.2F1)$$

$$Charge_{mise-sur-marche}(i,j,k) = Equipment_market(i,k) * Refrigerant_market_share(i,j,k) * Average_charge(I,j,k) \quad (4.2F1)$$

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.

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

4.7.2.3 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 retrofits 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

$$E_{lifetime,t} = B_t \cdot \frac{x}{100}$$

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 retrofits 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).

$\text{Charge_réelle}(i,L) = (1-(i-L))\text{EF_fug}(L)/100 * \text{charge_market}(L)$	(5.2F1)
--	---------

Le complément de charge correspond à l'écart entre la charge initiale (charge_market) et la charge réelle 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 survie » 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 (*Part_Restante*). 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.

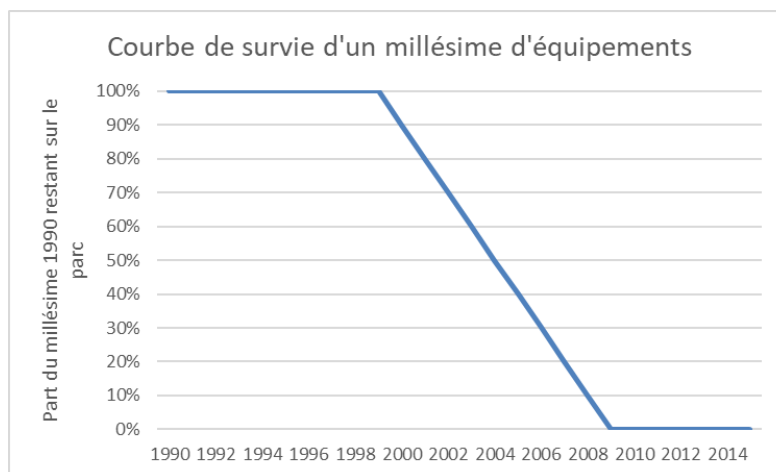


Figure 2F1- 2 - Exemple de courbe de fin de vie

La banque est alors calculée, pour chaque sous-secteur, à partir des quantités mises sur le marché (charge_{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.

$$banque(i, j) = \sum_{L=i-DDV_{max}+1}^i Part_Restante(L, i) * charge_{marché}(L, j) \quad (5.2F1)$$

$$banque(i, j) = \sum_{L=i-DDV_{max}+1}^i Part_Restante(L, i) * charge_{reelle}(L, j) \quad (5bis.2F1)$$

Où L=millésime (ou année de mise sur le marché) d'un équipement

DDV_{max} = Durée de vie maximale atteinte par un équipement d'un millésime donné

Charge_{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 retrofits des équipements.

$$E_{duree-de-vie} = Emiss_fugitive + Emiss_servicing + Emiss_retrofit \quad (6.2F1)$$

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.

$$\text{Emiss_fugitive}(i,j,k) = \overline{EF_{fugitive_{bank}}(i,k)} \cdot \text{Bank_reelle}(i,j,k) \quad (7.2F1)$$

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.

$$\text{Emiss}_{\text{maint}}(i,j,k) = (1 - C(k)) \cdot EF_{recharge}(i,k) \cdot \text{Complement}_{\text{Charge}}(i,j,k) + C(k) \cdot EF_{recharge}(i,k) \cdot \text{Emiss_fugitive}(i,j,k) \quad (8.2F1)$$

$C(k) = 0$ 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 retrofit d'une installation

Les retrofits d'installations sont pris en compte en considérant que durant la période précédant 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 retrofit prolonge en moyenne de 10 ans la durée de vie de l'installation. Une courbe de survie est appliquée aux équipements retrofits, basée sur une durée de vie moyenne de 10 ans. Des tables de retrofit 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 retrofits sont alors de deux types : une fin de vie de l'équipement initial, une charge de l'équipement converti. Les facteurs d'émission sont de même type que ceux considérés à la recharge et en fin de vie des équipements.

$$Charge_{retrofit}(i, j, k) = \sum_{Jret} Retrofit(Jret, j, i) / 100 * Bank_reelle(i - 1, Jret, k) \quad (9.2F1)$$

$$Banque_{retrofitee}(i, Jret, k) = (100\% - \frac{Retrofit(Jret, Jret, i)}{100}) * Bank_reelle(i - 1, Jret, k) \quad (10.2F1)$$

$$Emiss_retrofit(i, Jret, k) = EF_decharge(i, k) * Banque_retrofitee(i, Jret, k) \quad (11.2F1)$$

$$Emiss_retrofit(i, j, k) = EF_recharge(i, k) * charge_retrofit(i, j, k) \quad (12.2F1)$$

Jret correspond au fluide vers lequel le retrofit est fait, j étant le fluide frigorigène d'origine.

Retrofit(J1, J2, i) est la table donnant pour la part de la banque de fluide J1 convertie vers le fluide J2 l'année i, pour chaque sous-secteur k.

EF_decharge = facteur d'émission lors de la décharge de l'installation

EF_recharge = facteur d'émission lors de la recharge de l'installation avec le nouveau fluide frigorigène

4.7.2.4 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

$$E_{end-of-life, t} = M_{t-d} \cdot \frac{p}{100} \cdot (1 - \frac{\eta_{rec, d}}{100})$$

Where:

- $E_{end-of-life, t}$ = amount of HFC emitted at system disposal in year t , kg
- M_{t-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 :

$$E_{fin_de_vie} = \sum_{L=i-DDVmax+1}^i (Part_Restante(L, i-1) - Part_Restante(L, i)) * charge_reelle(L, j, k) * EF_fin_de_vie(i, k) \quad (13.2F1)$$

Où $Part_restante(L, i-1) - Part_Restante(L, i)$ donne la part du millésime L parvenant en fin de vie l'année i

$EF_fin_de_vie$ = facteur d'émission en fin de vie de l'équipement = 100%-efficacité de la filière de récupération

Cette formule est appliquée de même façon pour le calcul des quantités rétrofitées parvenant en fin de vie.

4.7.2.5 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 retrofit des installations. A ce besoin doivent être ajoutés les talons de charge correspondant aux quantités restant dans les bouteilles lorsqu'elles sont retournées aux distributeurs. Cette quantité est évaluée, selon les distributeurs à environ 15% du marché.

EQUATION 7.11
SOURCES OF EMISSIONS FROM MANAGEMENT OF CONTAINERS

$$E_{\text{containers}, t} = RM_t \cdot \frac{c}{100}$$

Where:

$E_{\text{containers}, t}$ = 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 retrofit (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.

$$\text{Quantités_marché}(i,j,k) = (1 + \text{Part_talons}(i)) * [\text{Besoin_charge}(i,j,k) + \text{Besoin_prod}(i,j,k) + \text{Besoin_maintenance}(i,j,k) + \text{Besoin_retrofit}(i,j,k)] \quad (14.2F1)$$

$$\text{Part_talons} = 15\% \text{ (hypothèse distributeur)}$$

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.

$$E_{\text{conteneurs}}(i,j,k) = EF_{\text{conteneurs}}(i) / 100 * \text{Quantités_marchés}(i,j,k) \quad (15.2F1)$$

$$\text{Avec } EF_{\text{conteneurs}} = 3\% \text{ (hypothèse distributeur)}$$

4.7.2.6 Remarque

La méthode de calcul décrite ci-dessus a été implémentée dans un outil développé dans Access par le Citepa. Celui-ci doit être couplé à une base de données caractérisant un pays ou territoire regroupant, pour chaque sous-secteur d'équipements, les caractéristiques techniques, les marchés et

productions d'équipements, les hypothèses concernant les fluides utilisés, les facteurs d'émission, les hypothèses de retrofit, etc.

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.

Par exemple, les marchés de R-410A et de R-407C calculés, intégrant les besoins pour la maintenance, la production en France et la charge des équipements neufs sur site, ont été comparés aux marchés déclarés au SNEFCCA.

Figure 92 : Comparaison du marché calculé et du marché déclaré de R-410A en France métropole

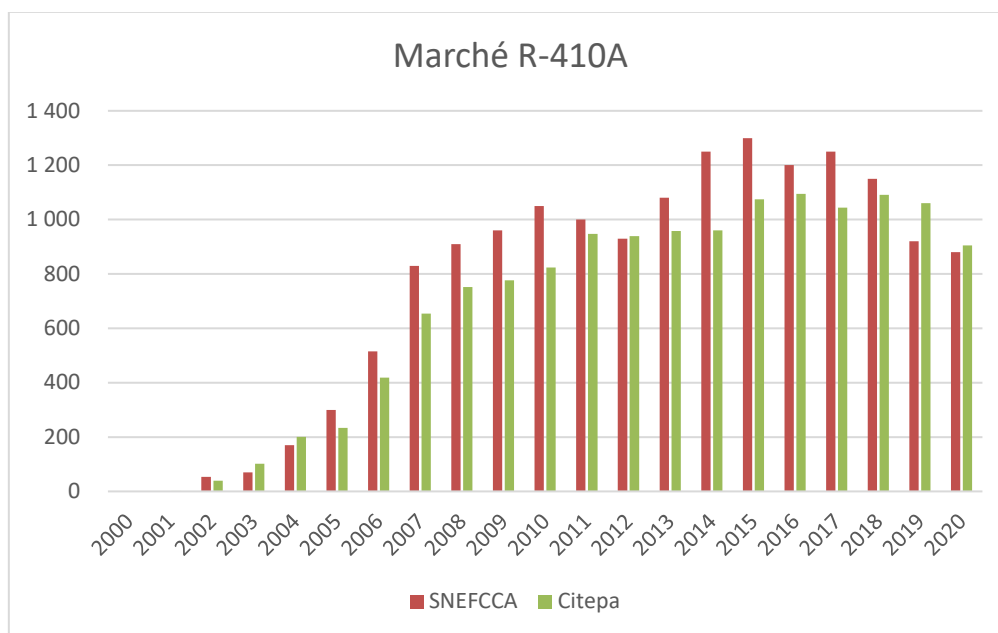
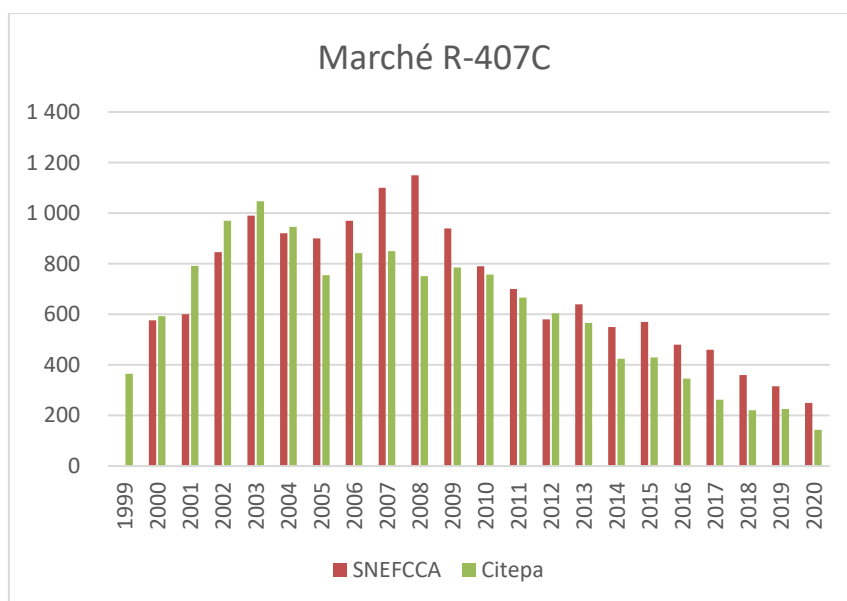


Figure 93 : Comparaison du marché calculé et du marché déclaré de R-407C en France métropole



Les figures ci-dessus font apparaître un ensemble globalement cohérent pour ces deux fluides. Pouvoir approcher le marché de fluides frigorigènes de façon cohérente permet de montrer que la banque de fluide frigorigène est évaluée de façon correcte, et, par conséquent, les émissions de durée de vie, de même que les émissions à la charge, liées aux marchés et productions d'équipements. En revanche, la cohérence du calcul des émissions fin de vie ne peut être validée par ces comparaisons.

Description des sous-secteurs

A la suite de la refonte de l'outil de calcul des émissions de HFC par le Citepa et de la reconstitution nécessaire de la base de données France métropole, les rapports NIR 2020 et 2021 ont présenté l'évolution détaillée des hypothèses, sur l'historique. A partir du rapport 2022, pour alléger le rapport, seules les hypothèses de l'année en cours et les éventuelles corrections antérieures sont précisées.

➤ *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

Marchés

Réfrigérateurs et congélateurs

Le Gifam (Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'Équipement 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 décollé au début des années 2000. Depuis 2018, les ventes annuelles de ces équipements proviennent du Gifam [1090].

Productions

Réfrigérateurs et congérateurs

Les réfrigérateurs ne sont plus produits en France depuis 2001 et les congérateurs depuis 2005.

Sèche-linges pompes à chaleur

Parmi les sèche-linges fabriqués en France, seule une usine a fabriqué des sèche-linges de type pompe à chaleur entre 2013 et 2018 et utilisant uniquement du R-134a. Les consommations de réfrigérants pour la production de ces équipements ont été directement transmises par l'exploitant et le nombre d'appareils produits est déduit de ces consommations et de la charge nominale de l'appareil.

Caves à vin

Il existe un seul fabricant de caves à vin en France (groupe Eurocave). Le volume de production en France n'a pu être obtenu, excepté en 2013 (revue spécialisée [1094]). Les volumes de productions des années antérieures et postérieures ont été estimées en suivant les tendances 2012-2013, en considérant un taux d'augmentation annuel de 8 %.

Charge nominale

Réfrigérateurs

La charge nominale moyenne des réfrigérateurs mis sur le marché peut être évaluée en fonction :

- d'un ratio de charge, exprimé en g de réfrigérant par litre de volume de réfrigérateur, ce ratio étant variable en fonction du type de fluide réfrigérant utilisé ;
- du volume moyen des équipements mis sur le marché.

Pour la catégorie Congélateur, la charge est calculée de la même manière, en fonction d'un ratio de charge par fluide et d'un volume moyen.

2020	Ratio de charge (kg/l) (R-600a)	Volume moyen (l)
Réfrigérateur	0.23	244
Congélateur	0.3	

Sèche-linges pompes à chaleur

La quantité de réfrigérant R-134a contenu dans un appareil dépend des classes énergétiques et varie de 280g pour les bases A+ et 370g pour les bases A++ selon [1091]. Une valeur moyenne de 325 g/appareil est considérée, faute de connaissance plus précise de la composition du marché. Ce volume de charge est cohérent avec la gamme proposée dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 50 et 500 g/appareil).

Caves à vin

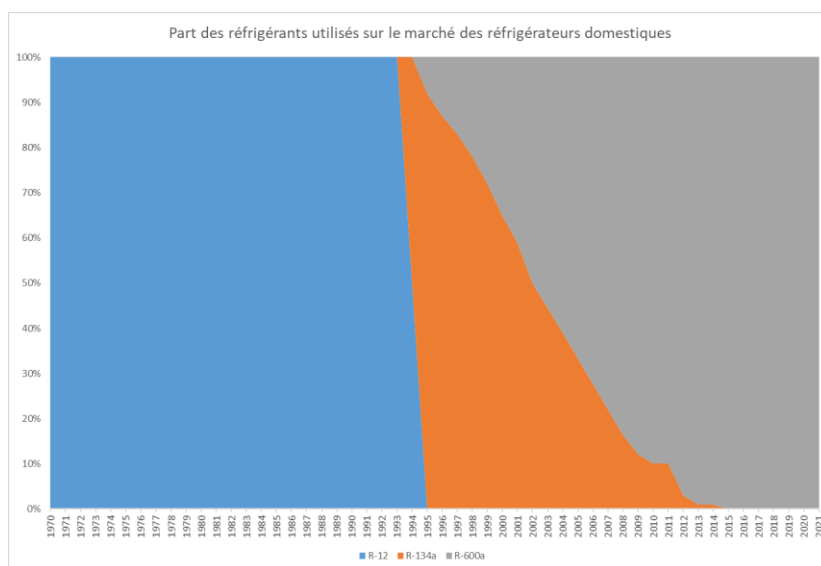
Selon un fabricant [1092], la charge moyenne de réfrigérant d'une cave à vin est comprise entre 30 et 100 g. Une valeur moyenne de 65 g/appareil est considérée dans l'inventaire. Cette valeur est également cohérente avec l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 50 et 500 g/appareil).

Réfrigérants

Réfrigérateurs et congélateurs

Le CFC-12 a historiquement été utilisé avant son interdiction par le Protocole de Montréal. Deux fluides l'ont remplacé à partir de 1994 et 1995, le R-134a et l'isobutane (R-600a). L'évolution des fluides frigorigènes utilisés au cours du temps a été évaluée à partir d'enquêtes de terrain menées régulièrement (figure ci-dessous) [207].

Figure 94 : Evolution des fluides frigorigènes utilisés sur le marché des réfrigérateurs domestiques



La réglementation européenne CE 517/2014 interdit la mise sur le marché des réfrigérateurs et congélateurs domestiques contenant un fluide frigorigène dont le PRG est supérieur à 150 depuis 1^{er} 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.

Caves à vin

Les enquêtes annuelles ont montré que s 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

En 2020	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 années 2010 à un taux de perte de 0,2 % a été utilisé, correspondant à la tranche basse des facteurs d'émission des Lignes directrices du GIEC 2006 pour le froid domestique [1095].

Sèche-linges pompes à chaleur

Un facteur d'émission spécifique au pays a été calculé en utilisant les consommations et les émissions déclarées par l'unique site de production en France. Celui-ci varie de 4,9 % à 0,1 % selon les années. La mise en place d'un nouveau process de remplissage du gaz entre 2016 et 2017 explique en partie la forte baisse de ce facteur d'émission.

Caves à vin

Faute de données fabricant, le facteur d'émission utilisé correspond à la moyenne de l'intervalle préconisé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 [1095], soit 0,6 %.

Fugitifs

Les appareils de froid domestique sont très étanches, le circuit frigorifique étant simple et entièrement soudé. Les émissions fugitives sont donc quasi-inexistantes et constituées de très rares pertes complètes de la charge correspondant généralement à un défaut initial de brasure. Le taux d'émissions fugitives est donc assimilé à la fréquence de défaillance des équipements : il est considéré stable, de l'ordre de 0,01 % correspondant à 1 défaillance sur 10 000 appareils [207]. Ce taux est basé sur les résultats d'une enquête assez ancienne qui avait été menée auprès d'un magasin de vente. Ce taux d'émission est supposé identique pour les 4 sous-applications de ce secteur.

En 2020	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 mises sur le marché antérieures 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.

En 2020	Appareils domestiques
Facteur d'émission fin de vie	44 %

➤ *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 :

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

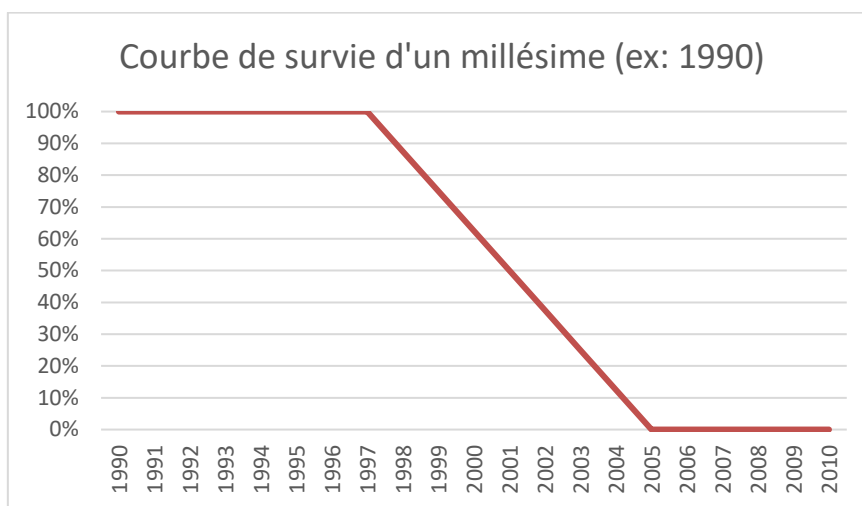
Durée de vie moyenne

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 95 - Courbe de fin de vie climatisation automobile



Données d'activités

Marchés

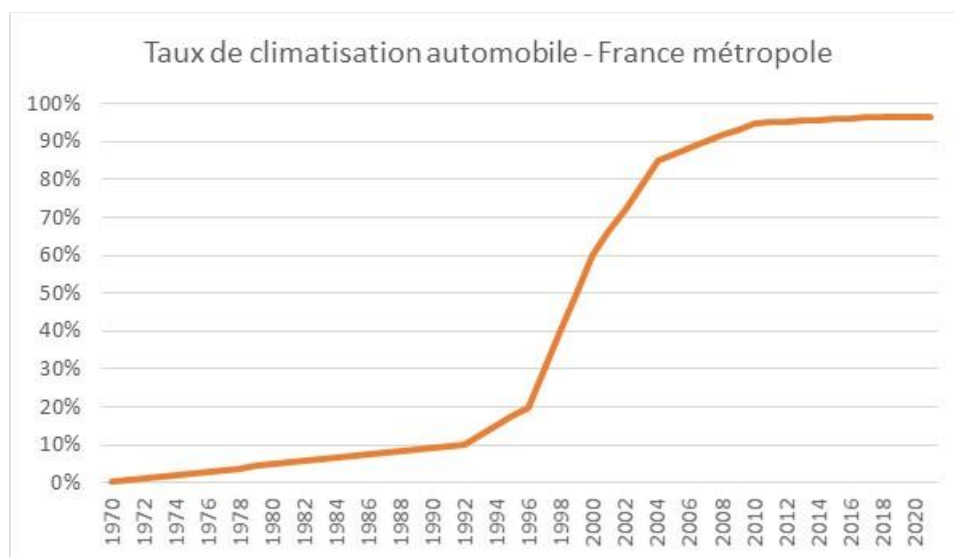
Deux paramètres sont nécessaires pour reconstituer le parc de climatisation embarquée :

- Les ventes annuelles (ou nombre d'immatriculations neuves) du moyen de transport ;
- Le taux de climatisation du marché des nouveaux équipements.

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 96 : Evolution du taux de climatisation automobile en France métropole (en %)

Véhicules industriels

Le marché de véhicules industriels supérieurs à 5t 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.

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 :
 - o pour les tramways, il est considéré une climatisation par cabine et une autre climatisation pour 2 remorques (rapport inventaire des fluides frigorigènes [207]) ;
 - o 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);
 - o 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 2020, les niveaux moyens de charge par application sont les suivants :

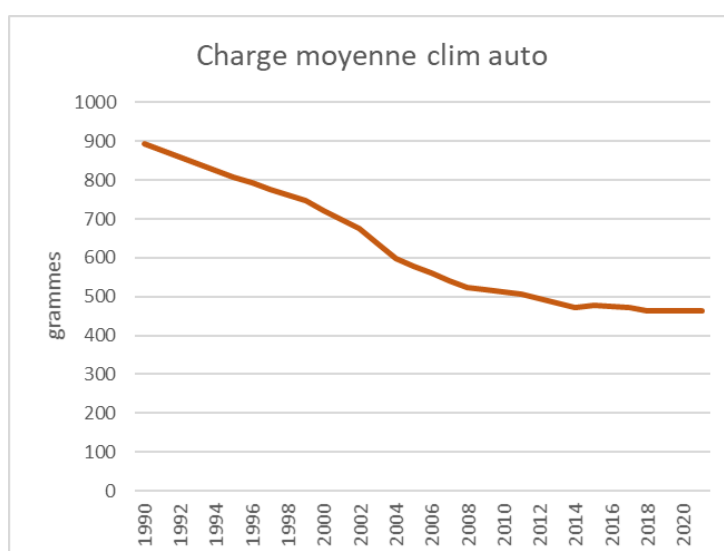
2020	Charge nominale (kg)
Climatisation automobile	0,46
Véhicules industriels	0,92
Cars et bus	10
Trains	14,5

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 fins et spécifiques au pays et tiennent compte des progrès réalisés par les équipementiers et la profession automobile.

Figure 97 : Charge moyenne de réfrigérant par véhicule (VP & VUL)



Véhicules industriels

Les charges moyennes sont estimées sur la base d'informations transmises par deux producteurs français [Renault Truck, Scania].

Les niveaux de charge varient ainsi au cours du temps avec une constante diminution de 1310 g de réfrigérant par véhicule en 1990 à 920 g en 2020. 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 succédés 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.

Selon des informations du producteur de HFC-134a, en 2017 la réglementation européenne a été respectée et la totalité des véhicules particuliers ont été mis sur le marché européen avec des systèmes de climatisations fonctionnant au R-1234yf. En revanche, la progression du R-1234yf en remplacement du R-134a n'a eu lieu que très tardivement. Peu de véhicules utilisant le R-1234yf ont été mis sur le marché européen avant 2014 et la part du R-1234yf n'a été significative qu'à partir de 2016. A partir de 2016, on évalue le nombre de VP et VUL mis sur le marché avec du R-1234yf à l'aide des données de production d'un fabricant automobile [1099].

Véhicules industriels

Deux fluides frigorigènes ont été utilisés dans cette sous-application : le R-12 et le R-134a. Il est supposé que la transition entre ces deux fluides s'est faite comme pour la climatisation automobile en deux ans, entre 1992 et 1994. La transition avec le R-1234yf se fera plus lentement que pour les VP et VUL, selon les producteurs.

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 n'étant pas encore amorcée.

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. 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*

En 2020	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

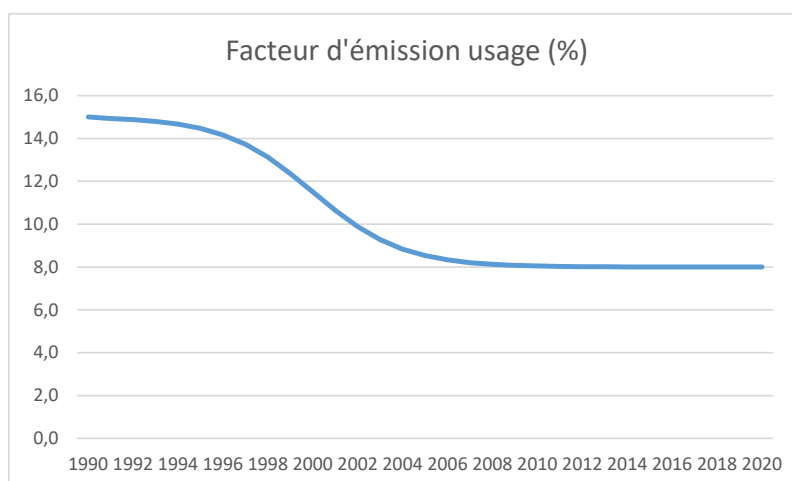
En 2020	Climatisation automobile	Véhicules industriels	Cars et bus	Trains
Facteur d'émission fugitif	8 %	8 %	10 %	5 %

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] :

	Intervalle		
	Haut	Bas	Moy
1ère génération	20%	10%	15,0%
2ème génération	10,6%	5,3%	8,0%

L'hypothèse retenue dans les calculs correspond à la moyenne des intervalles de la deuxième génération à partir de la fin des années 2000 et à la moyenne de la première génération jusqu'en 1996. Il faut attendre une dizaine d'années pour que le parc se renouvelle et se rapproche de 100% de véhicules équipés de climatisation de seconde génération et donc d'un facteur d'émission moyen de 8 %.

Figure 98 : 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

En 2020	Climatisation automobile	Véhicules industriels	Cars et bus	Trains
Facteur d'émission de fin de vie	46 %	92 %	92 %	12 %

Climatisation automobile

Les émissions en fin de vie dépendent directement des quantités de gaz fluorés qui sont récupérées dans les véhicules hors d'usage (VHU) avant leur destruction. La directive 2000/53/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 septembre 2000 relative aux véhicules hors d'usage (dite directive VHU) fixe des objectifs en termes de :

- Promotion des politiques de prévention des déchets lors des phases de conception et de construction des véhicules ;
- Création d'un système de collecte des VHU ;
- Conditions de traitement des VHU ;
- Réutilisation et valorisation des VHU ;
- Obligations de communication des différents acteurs.

Parmi les matières à valoriser, on recense notamment les fluides frigorigènes utilisés dans les climatisations. Dès 2005, l'ADEME a mis en place le suivi de la filière des véhicules hors d'usage en créant l'observatoire des VHU dans le cadre de la mise en œuvre de l'arrêté du 19 janvier 2005 portant sur la communication d'informations relatives à la mise sur le marché des automobiles en France, aux opérations de dépollution, de traitement et de broyage des véhicules hors d'usage. L'objectif étant de suivre les performances de la filière globale des VHU. L'ADEME rapporte ainsi chaque année dans son rapport les quantités de fluides frigorigènes récupérées par les filières de traitement des VHU. Cependant, ces données ne sont pas exploitables pour l'inventaire car les quantités de fluides récupérées sont estimées, et non mesurées, sur la base d'une quantité moyenne de fluide (0,54 kg) multipliée par le nombre de VHU. Ces quantités sont donc largement surestimées car d'une part tous les VHU ne sont pas climatisés, d'autre part, ceux qui le sont ont perdu une part de fluide pendant leur fonctionnement, et enfin la quantité moyenne de fluide contenue dans les véhicules dépend de la période de mise sur le marché.

Cependant, à la suite des revues internationales, il a été constaté que le taux d'émissions de fin de vie estimé pour la France était bien supérieur aux niveaux des autres pays européens alors que la filière VHU n'y est pas davantage mise en place. Des discussions lors des revues avaient également mis en évidence que la part exportée des véhicules en fin de vie n'était pas prise en compte et semblait non négligeable.

Par conséquent, une correction a été apportée dans 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 que 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 2019-2020

ont été estimés tendanciuellement, pour atteindre 56 % d'efficacité de récupération, tenant compte des exportations, en 2020.

Véhicules industriels et cars & bus

Les taux de récupération des fluides frigorigènes en fin de vie de ces véhicules sont supposés rester bas, faute d'information complémentaire. Les niveaux des anciens rapports d'inventaires [207] sont maintenus.

Transport ferroviaire

D'après le service de maintenance de la SNCF, la récupération en fin de vie des équipements de climatisation des trains est équivalente à celle réalisée lors des opérations de maintenance. La progression de l'efficacité de récupération est estimée à partir d'une courbe en S démarrant en 1990 pour atteindre 90 % dans les années 2020.

➤ Transports frigorifiques

Structure du secteur

Le secteur des transports frigorifiques se compose de 3 sous-secteurs : les navires réfrigérés, les conteneurs frigorifiques autonomes et le transport routier. Ce dernier est scindé en 2 catégories :

- les véhicules équipés de groupes frigorifiques autonomes de type « moteur thermique », rencontrés généralement sur les remorques ou semi-remorques ;
- les véhicules équipés de groupes de type « poulie-courroie » accouplés au moteur et installés sur les véhicules plus petits.

Les navires réfrigérés correspondent aux cales réfrigérées ou « reefers », c'est-à-dire les navires équipés de leurs propres systèmes de production frigorifique. On distingue plusieurs types de navires réfrigérés : les navires congélateurs, les transporteurs de palettes, les transporteurs en vrac ou les navires citernes (pour le transport des jus notamment).

Les conteneurs frigorifiques autonomes sont indépendants du mode de transport et sont véhiculés par train, camion ou bateau (porte-conteneurs). Les portes conteneurs sont apparus dans les années 1970 et sont devenus le principal mode de fret maritime et leur nombre continue de croître.

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.

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

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 transmises par l'association Carcoserco (ou Fédération Française de carrosserie). Depuis 2018, le marché national est estimé sur la base de communication avec la Fédération Française de Carrosserie (FFC) [1113].

Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques

Les marchés annuels de remorques et de semi-remorques ont été reconstitués de la même façon que pour les véhicules utilitaires légers réfrigérés.

Reefers

La flotte maritime de navires réfrigérés est estimée au niveau mondial, seules des statistiques globales étant disponibles. Au niveau mondial, le marché est équivalent à la production. Il est considéré, historiquement, qu'une part de 10 % peut être attribuée à la France [207].

Les marchés historiques (avant 2004) ont été reconstitués à partir des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207] et d'hypothèses sur les taux de croissance du sous-secteur. Les marchés des années plus récentes ont été estimés à l'aide de données disponibles sur le site MarineTraffic et des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207].

Conteneurs frigorifiques

Comme pour la flotte de navires réfrigérés, seules des statistiques mondiales étant disponibles, le marché national de conteneurs réfrigérés est supposé égal à 10% du marché mondial. Les conteneurs frigorifiques étant chargés d'usine, la production française pourrait être surestimée, les résultats concernant le transport maritime sont donc à prendre avec précaution.

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 Cemafruid pour les rapports d'inventaires antérieurs [207] et extrapolées sur 2017-2020.

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 auprès des fabricants recensées dans les anciens rapports d'inventaires [207] et de communications 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.

Charge de référence (kg)	Avant 2006	2010	2015	2020
Véhicules utilitaires réfrigérés légers	2,50	2,20	2,19	2,03
Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques	7,20	6,72	6,74	6.62

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.

Charge de référence	Avant 2000	Depuis 2010
Reefers (t)	4	1
Conteneurs réfrigérés (kg)	4,6	4,6

Réfrigérants

Véhicules utilitaires réfrigérés légers

Entre 1970 et 1990 on considère que l'ensemble du parc de véhicules utilitaires réfrigérés légers fonctionnaient au R-12. On estime qu'au début des années 1990, une transition s'opère vers des systèmes chargés au R-134a. Il est considéré dans l'inventaire que ce dernier est utilisé à 100 % dans les véhicules équipés de groupes de type « poulie-courroie » jusqu'au début des années 2000. Ces hypothèses ont été définies en prenant en compte le rapport RTOC de 1998 [1107], les anciens rapports d'inventaires des Mines [207] et de l'évolution de la législation internationale concernant les émissions de CFC.

A partir de 2003, le R-134a fait progressivement place à l'utilisation de R-404A qui devient prépondérant après 2010. L'augmentation de la part du R-404A dans ce sous-secteur atteint son maximum en 2015, puis diminue au profit du R-452A en 2016, du R744 en 2020 et du R-450A la même année. La répartition des fluides utilisés a été estimée sur la base :

- des données fournies par les anciens rapports des inventaires d'émissions des fluides frigorigènes [207], incluant des communications de Carrier et du Cemafrroid,
- d'échanges avec Petit Forestier [1114],
- d'échanges avec l'European Partnership for Energy and the Environment [1116].

Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques

Les hypothèses retenues jusqu'au milieu des années de 90 considèrent que les camions et semi-remorques frigorifiques étaient chargés au R-502 (principalement) et au R-22. Durant la dernière décennie du XX^{ème} siècle, ces fluides ont petit à petit laissé leur place au R-404A dont l'utilisation est généralisée à tous les véhicules équipés de groupes frigorifiques autonomes de type « moteur thermique ». Ces hypothèses ont été définies en s'appuyant sur le rapport RTOC de 1998 [1107], les anciens rapports d'inventaires [207] des Mines et de l'évolution de la législation internationale.

Jusqu'en 2007, le R-404A est le seul fluide utilisé pour les camions et semi-remorques. L'année suivante, le R-134a est introduit des à hauteur de 2% et croît progressivement jusqu'à atteindre près de 15% de présence à la fin des années 2010. Parmi les hypothèses retenues dans la construction de la courbe d'évolution des fluides frigorigènes utilisés, en se basant sur les tendances fournies par le Cemafrroid, on considère que le R-452A apparaît en 2016 et devient le fluide principal en 2020. En 2020, sont également introduits d'autres fluides de PRG plus faible que le R-404A tels que le R-450A ou le R-744. La répartition des fluides utilisés a été estimée sur la base des mêmes éléments que pour les véhicules utilitaires légers.

Reefers

Entre 1970 et la fin 1999, le R-22 et le R-12 constituent les deux fluides utilisés dans les cales frigorifiques des navires, la part du R-12 diminuant rapidement sur les dernières années conformément aux données communiquées dans le rapport RTOC de 2002 [1117]. On considère que le fluide disparaît du parc français à la fin des années 1990.

Durant les 2 premières décennies du XX^{ème} siècle, de nouveaux fluides viennent se substituer au R-12, notamment le R-404A, le R-410A et le R-717. On considère que la part de ce dernier croît régulièrement entre 2000 et 2020, grimpant jusqu'à 10 % de présence dans les reefers. On estime que la part des R-404A et R-410A croît également sur cette même période pour atteindre respectivement

30 % et 60 % en 2020. En parallèle, on considère que la présence du R-22 dans le parc diminue jusqu'à disparaître en 2020. Ces résultats reposent principalement sur les rapports RTOC et la prise en compte de l'évolution de la législation internationale.

Conteneurs frigorifiques

Jusqu'en 1993, sur la base du rapport RTOC de 1998 [1107] on estime que l'ensemble des conteneurs frigorifiques sont chargés au R-12. On considère ensuite que ce fluide laisse rapidement sa place au R-134a (plus de 75 % en 1999), au R-22 (20 % en 1999) et au R-404A (presque 5 % en 1999). Ces hypothèses ont été définies en s'appuyant sur le rapport RTOC de 1998 [1107], les anciens rapports d'inventaires des Mines [207] et de l'évolution de la législation internationale.

Entre 2000 et 2003, le marché est partagé entre le R-134a, le R-22 et le R-404A. Cependant il semble que le R-22 disparaisse rapidement laissant le R-134a en position de fluide principal (plus de 95 % entre 2003 et 2011). Ce dernier est néanmoins en perte de vitesse depuis 2012 et ne représente que près de 20 % dans le marché français en 2020. Concernant le R-404A, l'hypothèse est faite qu'il occupe une part constante jusqu'en 2016 (3 %) avant de décroître. 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, le R-456A et le R-744. On estime que pour l'ensemble de ces fluides, leur part croît régulièrement. Ces hypothèses se basent principalement sur les rapports RTOC et les anciens rapports d'inventaires des Mines [207].

Facteurs d'émission

A la charge

En 2020	Toutes applications
Facteur d'émission à la charge	1 %

Ces valeurs des facteurs d'émission à la charge sont issus des lignes directrices du GIEC de 1996 [1118] et de 2006 [1095] et considérés constants depuis 2006.

Fugitif

En 2020	VUL réfrigérés	Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques	Reefers	Conteneurs frigorifiques
Facteur d'émission fugitif	18 %	12 %	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 estimés 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

En 2020	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 débiter 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*

Ce secteur a été entièrement revu pour cette édition d'inventaire. La méthode de calcul a été remise à plat afin d'être prise en compte dans l'outil gaz fluorés du Citepa et de pouvoir prendre en compte la réduction des charges nominales des installations au cours du temps. Une large enquête de terrain auprès des fédérations industrielles a débuté. Les premiers retours, de l'industrie agroalimentaire du lait notamment, sont pris en compte et ont un impact sur l'historique des émissions.

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, cette année, 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 8 sous-secteurs :

- L'industrie agroalimentaire de la viande,
- L'industrie agroalimentaire du lait,
- Les autres industries alimentaires,
- Les entrepôts réfrigérés,
- Les tanks à lait,

- L'industrie chimique,
- L'industrie pharmaceutique,
- L'industrie du caoutchouc.

En fonction des données disponibles pouvant être fournies par la profession, le sous-secteur « autres industries agroalimentaires » pourra être décomposé. Pour le moment, il a été établi de façon à être cohérent sur le niveau 2000 des émissions du secteur, comparativement à la précédente édition.

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, etc.). Dans l'attente de données complémentaires issues de l'enquête de terrain, les productions agroalimentaires autres que celles de la viande et du lait ont été rassemblées en un seul sous-secteur « autres productions », les ratios caractéristiques n'ayant pas pu être revus.

Entrepôts réfrigérés

Les entrepôts frigorifiques sont distincts, dans le calcul, de l'industrie agroalimentaire même si une partie des entrepôts est utilisé par l'IAA (8 % en 2010).

Figure 99 - Répartition des surfaces d'entrepôts frigorifiques en France - Insee 2012

	en milliers de m ²			
	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/m³ entreposé.

Il est considéré que la part des entrepôts ayant du froid négatif est d'environ 44 % (d'après le tableau précédent, Insee 2012), ce qui représente une forte évolution par rapport aux hypothèses des précédentes éditions d'inventaire où la part des entrepôts réfrigérés en froid négatif était supposée de 70 %.

Le niveau 2020 de la capacité d'entreposage frigorifique en France est estimé à 21 millions de m³ 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.

Les démarches auprès des industriels n'ont pas permis de vérifier ou mettre à jour les données, ceci constitue une perspective d'amélioration pour la prochaine édition d'inventaire.

Charge

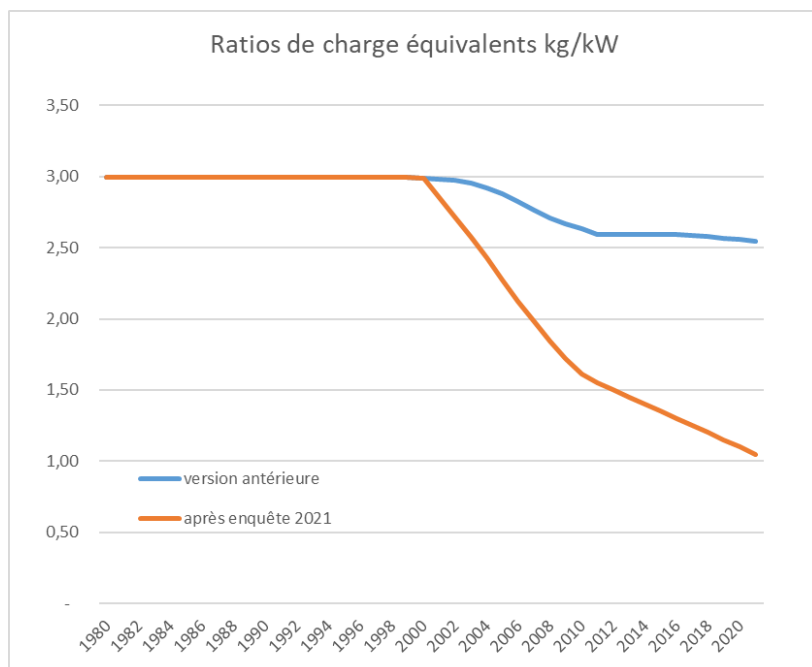
Dans le cas du froid industriel, la charge installée est estimée à partir de plusieurs ratios de charge selon la méthode utilisée historiquement dans [207]. On peut résumer l'ensemble de ces ratios à deux principaux :

- Un ratio de charge « équivalent », en kg/kW prenant en compte
 - o les caractéristiques générales des systèmes à détente directe et des systèmes directs pour le froid positif et le froid négatif ;
 - o 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.

	Viande	Lait	Autres	Entrepôts
Besoin frigorifique pour la production (kW/t or kW/m ³)	0,044	0,013	0,044	0,032
Part de froid négatif	30 %	20 %	0 %	40 %

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 100 - Ratio de charge équivalent - Exemple de l'industrie laitière



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/CO₂ est pris en compte, et plus récemment, celle des systèmes CO₂ trans-critiques. La tendance est la même pour les entrepôts frigorifiques. L'ammoniac (R-717) a toujours été fortement utilisé en agroalimentaire, les retours de l'enquête de terrain menée en 2021 ont montré que la part de l'ammoniac dans les installations agroalimentaires, dans l'industrie du lait notamment, avaient été sous-estimées. Ce point a été corrigé sur l'historique.

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.

En 2020	Toutes applications
Facteur d'émission à la charge	1,5 %

Fugitif

En 2020	Agroalimentaire	Entrepôts	Industrie chimique	Industrie pharmaceutique	Industrie caoutchouc
Facteur d'émission fugitif	8 %	13 %	13 %	14 %	15 %

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.

Procédés industriels

Excepté dans le cas de l'industrie du caoutchouc où les quantités utilisées pour la maintenance ont été régulièrement communiquées et les taux d'émissions élevés (jusqu'à 100 % en 2005), les taux d'émissions fugitives sont supposés de l'ordre de 15 %, faute de communication plus précise, et en légère décroissance depuis 2009.

Fin de vie

En 2020	Agroalimentaire	Entrepôts	Industrie chimique	Industrie pharmaceutique	Industrie caoutchouc
Facteur d'émission de fin de vie	5 %	10 %	5 %	5 %	10 %

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.

- **Climatisation stationnaire**

Structure du secteur

La structure de ce secteur est basée sur celle des données statistiques disponibles. La structure utilisée par Uniclimate [1129] qui fournit les données de marchés par type d'équipement, est utilisée dans l'inventaire.

Dans le rapportage des inventaires des émissions de GES au titre du Protocole de Kyoto, 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 :

*** Climatisation individuelle**

- Climatiseur mobile (mobile) ;
- Climatiseur fenêtre (window) ;
- Mono-split (small split) ;
- Multi-split ;

*** Climatisation autonome**

- Armoires verticales (consoles) ;
- DRV (Débit Réfrigérant Variable) ou VRV ;
- Central AC (large split system) ;
- Roof top ;
- Armoire spéciale (cabinet).

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.

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 :

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			
	Air-to-water heat pumps			
	Water-to-water heat pumps			
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 :

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 %
HEAT PUMPS	Cabinets	selon seuil	70 %
	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 influencer sur le profil de la courbe de durée de vie. Le tableau ci-dessous en récapitule les valeurs :

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

➤ Historique (avant 2000) :

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).

➤ Années récentes (à partir de 2000) :

Les données de marchés par équipements ont été communiquées par Uniclimate [1129] pour les années les plus récentes (à partir de 2000 pour la majorité des équipements). Le marché national a été estimé en appliquant les chiffres Uniclimate pour tenir compte du fait que tous les acteurs du marché ne sont pas adhérents à la fédération (ordre de grandeur communiqué par Uniclimate). La représentativité des adhérents d'Uniclimate 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'Uniclimate ne sont pas assez représentatifs de ce sous-secteur (moins de la moitié du marché estimé) et les marchés français sont transmis par le fabricant Lennox à partir de 2015. Avant 2015, pour estimer le marché total français, le niveau de marché de 2015 de Lennox est utilisé avec les variations interannuelles des marchés Uniclimate.

Remarque : l'ordre de grandeur de la représentativité donné par Uniclimate 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.

Les marchés des climatiseurs mobiles, qui ne sont pas suivis par Uniclimate, ont été estimés à partir des données indiquées dans les rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207]. Les marchés ont

été supposés constants depuis 2013. Ce sous-secteur est marqué d'une forte incertitude sur ces données d'activités.

Par ailleurs, les marchés sont connus pour différentes gammes de puissances pour les équipements suivants :

- Climatiseur mono-split ;
- Climatiseur multi-split ;
- DRV ;
- Rooftop.

ce qui permet d'affiner l'estimation de la charge moyenne et des quantités de fluides frigorigènes mises sur le marché par sous-secteur.

Chillers (ou groupes refroidisseurs à eau)

➤ Historique (avant 2002) :

Les marchés historiques (avant 2002) des chillers à compresseur volumétrique ont été reconstitués à partir :

- Des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes pour l'année 2002 (2001 étant estimé par la moyenne des marchés entre 2000 et 2002) [207] ;
- Du rapport RTOC 2002 pour l'année 1999 ;
- D'hypothèses sur le début du marché des chillers en France (pris en 1970) et le taux d'accroissement (supposé linéaire entre 1970 et 1999).

Les marchés des compresseurs centrifuges ont été estimés à l'aide des rapports d'inventaires des fluides frigorigènes pour 2000 et 2001 [207] et d'une estimation du taux d'accroissement pour les années antérieures (basée sur l'évolution des marchés entre 2001 et 2002).

➤ Années récentes (à partir de 2002) :

Les données de marchés par type de chillers ont été communiquées par Uniclimate [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'Uniclimate a donc été estimée à 92 %, comme pour les équipements de climatisation à air.

Les marchés sont communiqués pour trois types de chillers à compresseur volumétrique (condensation à eau, condensation à air et condensation par ventilateur centrifuge) et 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) permettant d'avoir des informations fines sur ce parc d'équipements en France.

Les marchés des compresseurs centrifuges proviennent des rapports d'inventaires de fluides frigorigènes [207]. Celui-ci se situe autour des 50 unités par an depuis le début des années 2000.

Pompes à chaleur

➤ Historique (avant 2002) :

Il est supposé que le marché des PAC a démarré en 1996. Les marchés historiques, avant 2002, proviennent de deux sources :

- De l'association française pour la pompe à chaleur [1131] ;
- Des rapports d'inventaires de fluides frigorigènes [207] ;

Avant 2002, l'AFPAC communique les marchés agrégés des PAC Air/Eau et géothermie. La répartition de 2002 entre PAC Air/Eau et PAC géothermique a été utilisée pour estimer ces marchés. Cette répartition est d'environ un tiers de PAC Air/Eau et deux tiers de PAC géothermique. A l'intérieur de la catégorie PAC géothermique, la répartition des marchés entre PAC Sol/Eau, PAC Eau/Eau et PAC Sol/Sol a été estimée sur la base des informations indiquées dans les rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [207].

➤ **Années récentes (à partir de 2002) :**

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 Uniclimate [1129] pour différentes gammes de puissance (les données de marché total entre Uniclimate 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 Uniclimate 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'Uniclimate [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 :

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 :

- 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) ;
- 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 est 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

On distingue trois cas dans l'inventaire pour estimer les quantités de réfrigérants dans les équipements :

- Directement à partir de la charge moyenne :

La charge moyenne représente la quantité de fluides frigorigènes présente dans un équipement de climatisation. Cette quantité dépend du type d'équipement mais peut également dépendre du réfrigérant utilisé. Les équipements appartenant à cette catégorie sont les armoires spéciales (cabinets), les armoires verticales (consoles), les large splits, les climatisations mobiles, les climatisations fenêtres et les pompes à chaleur. Cette quantité est généralement considérée constante au cours du temps excepté pour les large splits dont la charge est supposée avoir progressivement diminué à partir de 2002 suivant le modèle d'une courbe en S.

A noter qu'il serait possible d'affiner cette charge moyenne en utilisant les marchés par gamme de puissance pour les PAC Air/Eau. En effet, Uniclimate communique annuellement ces marchés pour 5 gammes de puissance depuis 2007. En croisant ces données avec des ratios de charge pour ces mêmes gammes de puissance, il sera possible de faire varier annuellement la puissance moyenne des équipements.

Les valeurs utilisées de la charge moyenne dans les divers équipements sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Sous-secteur	Charge moyenne (kg)
Climatiseurs mobiles	0,5
Climatisation de fenêtre	0,6
Armoires verticales	2,8
Large split	de 9 en 2001 à 5 en 2016
Armoires spéciales	18
PAC Air/Eau	3,5
PAC Eau/Eau	2,5
PAC Sol/Eau	15
PAC Sol/Sol	15
CET	0,5

Ces valeurs sont basées sur des communications de fabricants mentionnées dans les anciens rapports d'inventaire [207].

Remarque : les charges moyennes estimées sont incluses dans l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 0,5 et 100 kg).

➤ A partir de ratio de charge :

Quand le marché d'équipements est connu par gamme de puissance, comme pour les chillers, il peut être plus précis d'utiliser un ratio de charge. Le ratio de charge est exprimé en kg de fluide frigorigène par unité de puissance dans un équipement de climatisation. Ces ratios de charge ont été communiqués par les fabricants d'équipements, parfois par fluide. Connaissant les marchés d'équipements par gamme de puissance, il a été possible de calculer finement une charge moyenne pour les mono-split, multi-split, DRV et rooftop. La charge moyenne des chillers à compresseur volumétrique est calculée en fonction des marchés par gamme de puissance et des ratios de charges transmis par les fabricants d'équipements pour certaines gammes de puissance. La charge moyenne des compresseurs centrifuge est issue des rapports d'inventaires de fluides frigorigènes [207] à partir de 2008 (0,3 kg/kW). Elle est supposée constante pour les années suivantes. Avant 2008, on utilise le ratio indiqué dans le RTOC 2002 (0,40 kg/kW).

La formule ci-dessous est donc utilisée pour les différentes gammes de puissances disponibles.

$$Charge\ moyenne(i) = \sum^i \text{Marché}_{(i)} * \text{Ratio de charge}_{(i)} * \text{Puissance}(i) / \text{Puissance totale}$$

Les marchés disponibles par gamme de puissance utilisés pour les différents équipements sont communiqués par Uniclimate et sont les suivants :

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		

Le ratio de charge moyen est calculé annuellement à partir de 2000 pour les mono-splits et multi-splits, 2001 pour les rooftop et 2004 pour les VRV. Avant ces dates, la répartition des marchés par gamme de puissance n'est pas connue, la dernière répartition calculée est donc utilisée pour les années antérieures.

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.

➤ 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 « portables » dont le PRG > 150 à partir de 2020.

Climatisation à air

➤ Historique (antérieure à 2001) :

- Transition CFC -> HCFC : les informations sur la répartition des réfrigérants 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 ;
- Transition HCFC -> HFC : le rapport RTOC (édition 2002) indique que presque tous les équipements de climatisations 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.

➤ Années récentes (à partir de 2001) :

Les données de réfrigérant ont été communiquées par Uniclimate [1129] pour les années les plus récentes (à partir de 2000 pour la majorité des équipements). Toutefois, la donnée exploitée ne correspond pas à des quantités de réfrigérants par équipement mis sur le marché mais à un nombre d'équipement contenant un certain type de réfrigérant. Cette information pourrait toutefois être exploitée dans les années futures avec des données Uniclimate plus précises. Ces données annuelles ont été transmises pour les équipements suivants :

- Mono-split ;
- Multi-split ;
- Large split ;
- Rooftop ;
- VRV.

Pour les autres équipements, les réfrigérants utilisés sont récupérés dans les différents rapports d'inventaire de fluides frigorigènes (de 1999 à 2016) [207] et sont linéarisés en cas de manque d'information. A partir de 2017, les données sont estimées sur la base des tendances des années précédentes.

Chillers

➤ Historique :

- Transition CFC -> HCFC : pour les chillers à compresseur volumétrique forte puissance ($P > 350 \text{ kW}$), les informations sur la répartition des réfrigérants proviennent du rapport RTOC 1998 qui indique que la part du R-134a est équivalente à celle du R-22. Il a été supposé que l'année du démarrage du R-134a est 1995. Pour les chillers à compresseur volumétrique de faible et moyenne puissance, les données entre 1970 et 1990 sont issues d'avis d'expert : une répartition moitié/moitié est considérée en 1970 entre le R-12 et le R-22, 20 %/80 % en 1980 respectivement pour le R-12 et le R-22, et l'intégralité du marché des nouveaux équipements au R-22 est considérée à partir de 1990. Pour les compresseurs centrifuge, les données sont tirées des résultats inventaires de fluides frigorigènes (répartition 70 %/30 % respectivement entre le R-12 et le R-11 de 1970 à 1985 puis apparition du R-22 toutefois mineure à environ 10 %).
- Transition HCFC -> HFC : L'arrêt d'utilisation du R-22 dans les équipements de climatisation est lié à la réglementation 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 moyenne puissance ont été le R-407C et le R-410A, alors que le R-134a a été utilisé pour les chillers de forte puissance en plus du R-407C. La répartition entre le R-407C et le R-410A et leur année de démarrage a été faite en fonction des informations récupérées dans les rapports RTOC et à l'aide des données Uniclimate (faisant apparaître beaucoup plus de R-407C que de R-410A en 2002).
- Pour les compresseurs centrifuge, les données sont tirées des résultats inventaires de fluides frigorigènes (augmentation progressive du R-134a à partir de 1992 pour atteindre 100% du marché des nouveaux équipements en 1999).

➤ Années récentes :

Pour les chillers à compresseur volumétrique, les données de réfrigérant ont été communiquées par Uniclimate 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).

Pour les compresseurs de type centrifuge, les hypothèses concernant les réfrigérants utilisés sont issues des différents rapports d'inventaire de fluides frigorigènes.

Pompe à chaleur

➤ Historique (avant 2005) :

- Transition HCFC -> HFC : 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.

➤ Années récentes (à partir de 2005) :

Les données sur les réfrigérants employés proviennent d'Uniclimate à partir de 2006 pour les PAC Air/Eau et à partir de 2008 pour les PAC à géothermie. Avant ces dates, les données proviennent des rapports d'inventaire de fluides frigorigènes.

Pour les CET, seul le R-134a semble être utilisé d'après les rapports d'inventaire de fluides frigorigènes.

Facteurs d'émission*Charge*

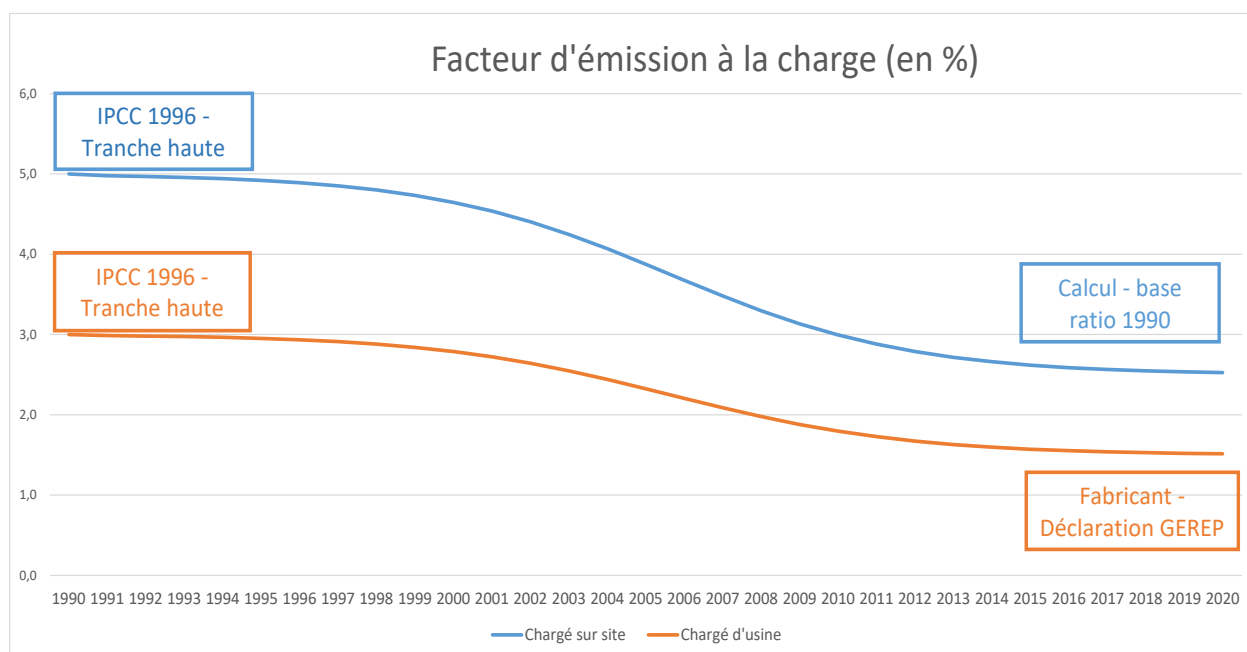
Pour estimer les facteurs d'émission à la charge, on distingue si les équipements sont chargés d'usine ou sont chargés sur site.

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 maîtrises des charges d'équipements. La valeur asymptotique estimée pour l'année 2015 a été calculée à partir des données d'un producteur d'équipements en France (équipement chargé d'usine). Le taux de perte calculé est de l'ordre de 1,5 %. Cette valeur est conservée pour les années suivantes. Pour estimer le facteur d'émission des équipements chargés sur site en 2015, on utilise un ratio similaire entre les facteurs d'émission des équipements chargés sur site et chargés d'usine de 1990. Le taux de perte calculé est ainsi d'environ 2,5 %.

Ces taux d'émission à la charge pourraient être encore affinés en prenant en compte d'autres producteurs d'équipements en France et en les faisant évoluer annuellement sur la base des déclarations des exploitants dans GEREPE.

Remarque : les facteurs d'émission calculés montrent des valeurs supérieures à l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 0,2 et 1 %).

Figure 101 : Facteur d'émission à la charge (en %)



Fugitif

Les taux d'émission pendant le fonctionnement de l'équipement sont supposés évoluer selon une courbe en S basée sur un niveau de référence de 1990 et sur un niveau asymptotique atteint vers 2016.

Climatisation à air

Pour la majorité des équipements de climatisation, le facteur d'émission utilisé en 1990 provient de la tranche haute des Lignes directrices du GIEC 2006 (10 %). Cette valeur est également utilisée pour les années antérieures à 1990. Les valeurs utilisées pour l'année 2016 varient en fonction du type d'équipement et sont extraites du rapport d'inventaire des fluides frigorigènes. A noter que le facteur d'émission de certains équipements commence sa décroissance à partir de 2001 (multi-split, console, cabinet).

Pour les climatisations mobiles et les climatisations « fenêtres », un taux d'émission constant et égal à 2 % est pris en compte dans les calculs.

Remarque : il a été vérifié que les hypothèses concernant les facteurs d'émission appartiennent bien à l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 1 et 10 %).

Chillers

Pour tous les équipements, le facteur d'émission utilisé en 1990 provient de la tranche haute des Lignes directrices du GIEC 2006 (15 %). Cette valeur est également utilisée pour les années antérieures à 1990. Les valeurs utilisées pour l'année 2016 varient en fonction du type d'équipement et sont extraites du rapport d'inventaire des fluides frigorigènes. On suppose que les taux d'émission pour les chillers à compresseur volumétrique de faible (< 50 kW) et moyenne puissance (50 < P < 350 kW) sont identiques.

Remarque : les facteurs d'émission estimés pour les années récentes sont inclus dans l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 2 et 15 %).

Pompes à chaleur

Pour tous les équipements, le facteur d'émission utilisé en 1990 provient de la tranche haute des Lignes directrices du GIEC 2006 (10 %). Cette valeur est également utilisée pour les années antérieures à 1990. Les valeurs utilisées pour l'année 2016 varient en fonction du type d'équipement et sont extraites du rapport d'inventaire des fluides frigorigènes.

Remarque : les facteurs d'émission estimés pour les années récentes sont inclus dans l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 1 et 10 %) à l'exception des CET pour qui le même facteur d'émission que les équipements de réfrigération domestique est appliqué (0,01 %).

Figure 102 : Facteur d'émission pendant la durée de vie - climatisation fixe (en %)

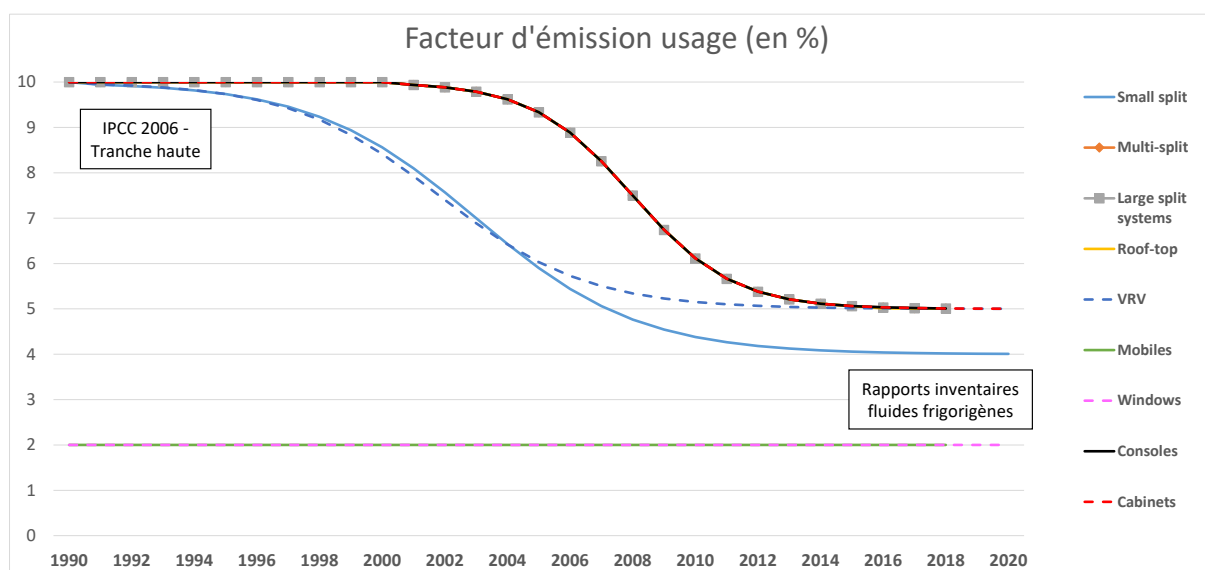


Figure 103 : Facteur d'émission pendant la durée de vie - chillers (en %)

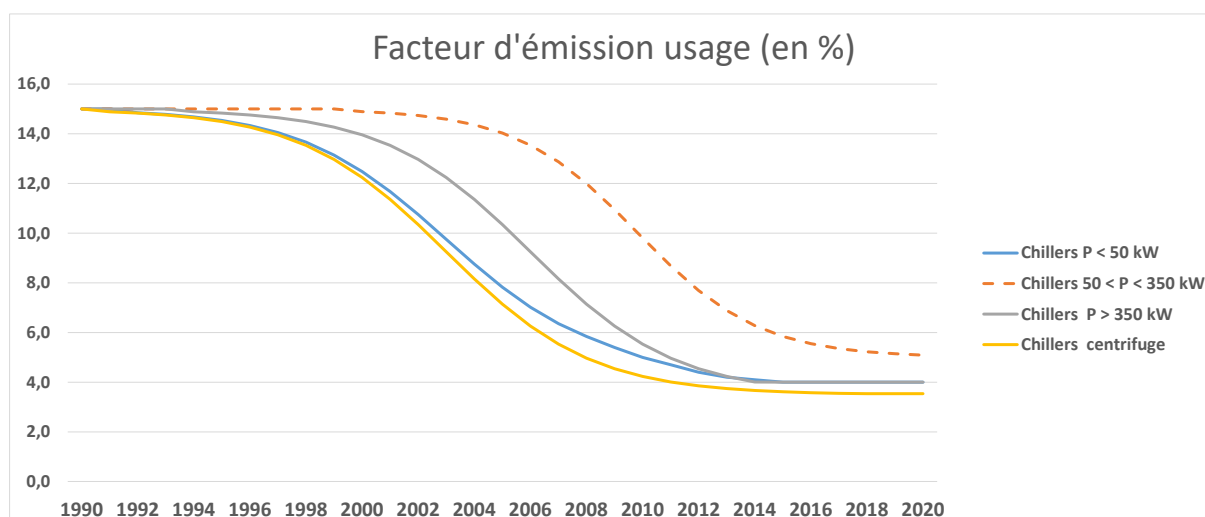
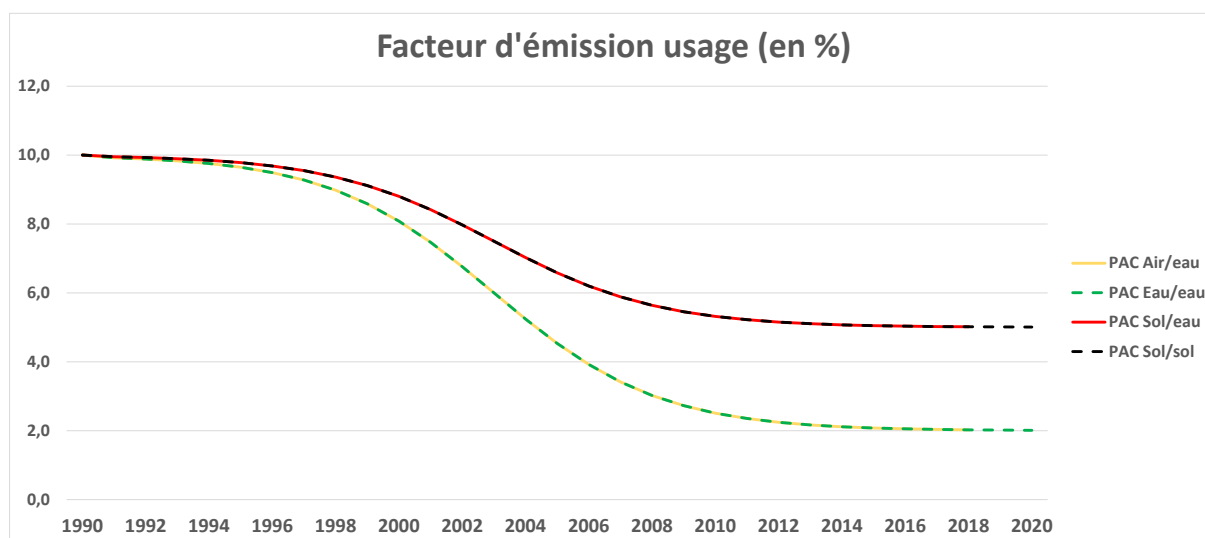


Figure 104 : Facteur d'émission pendant la durée de vie - pompe à chaleur (en %)



Fin de vie

Les émissions en fin de vie des équipements dépendent des quantités 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.

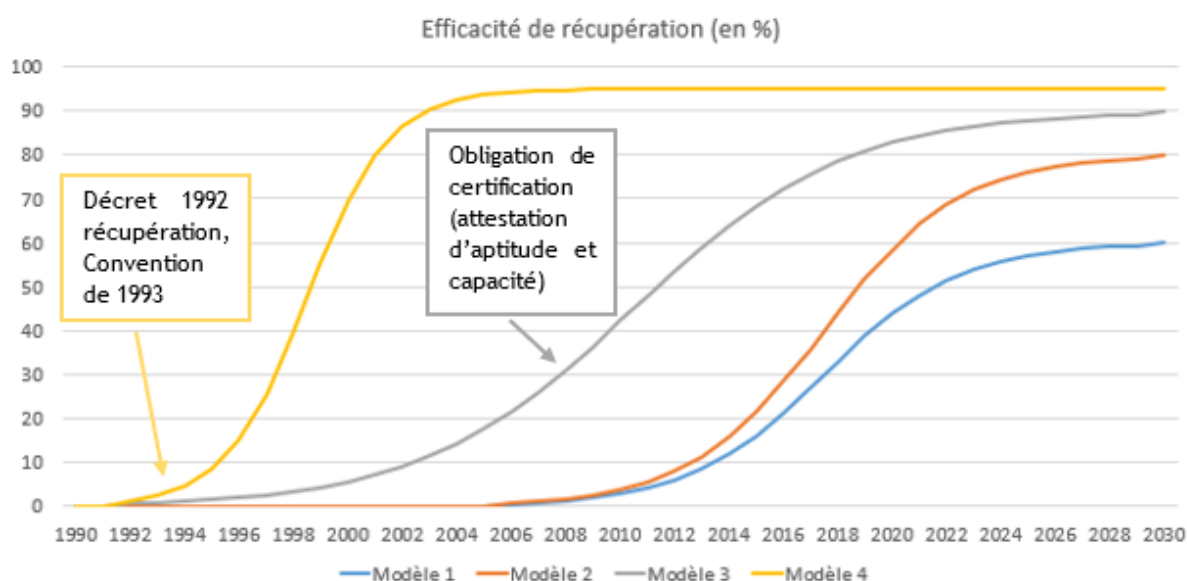
Hypothèses de ce modèle :

- 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 :

Model	1	2	3	4
Année démarrage récupération	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 105 : 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 regroupent 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.

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 influencer 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 est similaire à celle présentée pour les hypermarchés.

Entre 1970 et 1992, le parc est reconstitué à l'aide des mêmes sources. Entre 1994 et 2016, les inventaires des Mines sont utilisés comme référence [207]. Enfin, le parc de supermarchés considéré en 2018 est issu d'une communication avec le LSA [1125], et celui de 2019-2020 est issu d'une communication avec Perifem [1126].

Groupes de condensation

La banque de fluide frigorigènes dans les groupes de condensation des « petits commerces » est calculée en fonction des charges moyennes par type d'équipement et l'évolution du parc de magasins. Une charge moyenne par type de magasin (supérettes, drives, etc.) est estimée selon les résultats d'études de terrain réalisées par l'Ecole des Mines et dont les résultats sont détaillés dans les rapports d'inventaires [207].

Le parc de petits commerces, de supérettes, de magasins drive et de distributeurs est reconstitué, entre autres, à partir des rapports des Mines [207], de la base de données de l'ACOSS [1124], de sites retraçant l'évolution de divers secteurs du commerce alimentaire de détail et des bases de données de l'INSEE [1120], [1121], [1122], [1123].

Groupes hermétiques

La même méthode que pour les groupes de condensation est appliquée aux groupes hermétiques. La charge moyenne par type de magasin (supérettes, drives, etc.) est estimée sur la base d'études de terrain réalisés par l'Ecole des Mines et dont les résultats sont détaillés dans les rapports d'inventaires [207].

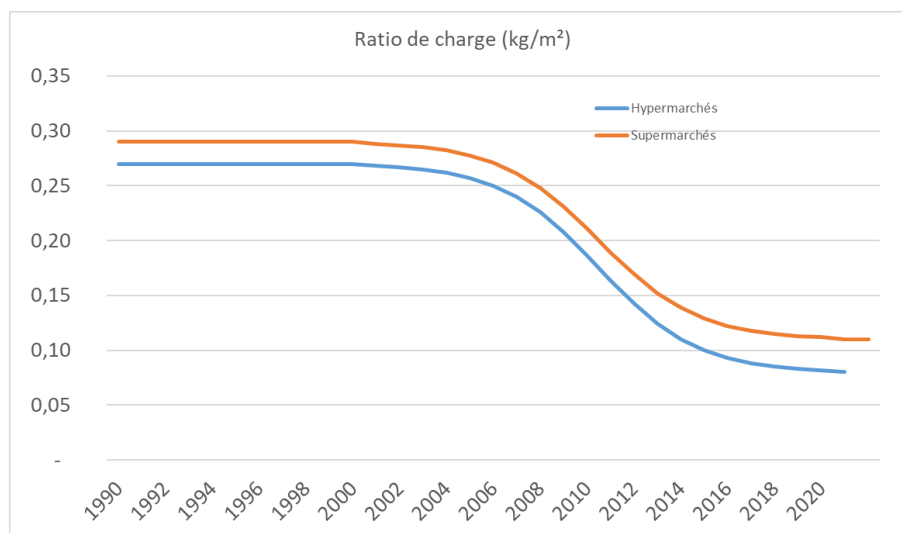
Productions

Faute de données, on estime que la production des groupes hermétiques sur le territoire national est équivalente au marché. Pour les autres sous-secteurs, la production n'est pas utile au calcul.

Charge

Pour les hypermarchés et supermarchés, la charge de fluide est exprimée en kg de fluide frigorigène par unité de surface (kg/m^2). Ces ratios ont été estimés à partir d'enquêtes de terrain et d'avis d'experts, incluant progressivement la réduction des charges du fait de l'introduction de systèmes indirects [207]. La courbe a été lissée, sur l'historique, avec un modèle de courbe en S.

Figure 106 - Ratios de charge surfacique en super et hypermarchés



Charge de référence (kg/m^2)	Avant 2000	2021
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.

Charge de référence (kg)	Avant 2000	2021
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

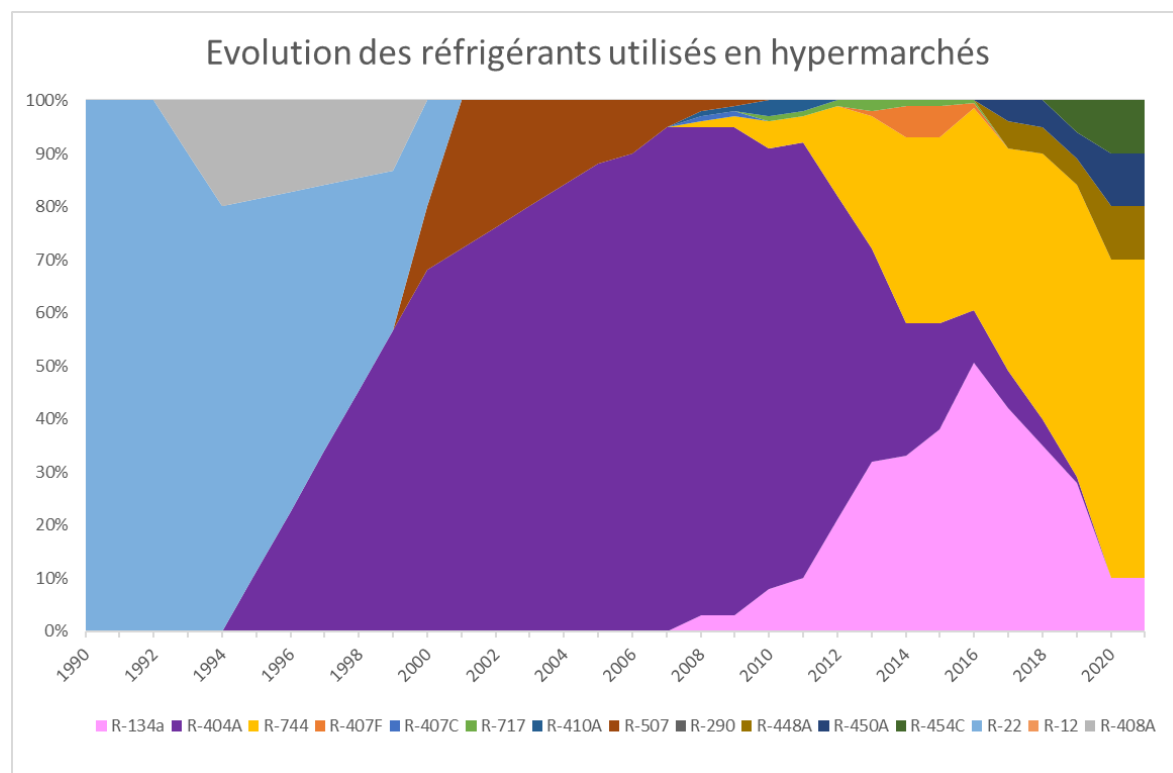
Au cours du temps, plusieurs réfrigérants ont été utilisés dans les commerces alimentaires de détail : les substances appauvrissant la couche d'ozone (CFC et HCFC) ont été progressivement remplacées par les HFC, le R-404A ayant été le plus utilisé. Ces derniers ayant des valeurs de PRG élevées, ils sont 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/CO₂, la part du R-404A diminue. A partir de 2015, du fait de la nouvelle réglementation F-Gas et de l'interdiction programmée d'utilisation du R-404A dans les équipements neufs à partir de 2022, de nouveaux fluides frigorigènes commencent à être introduits sur le marché, à plus bas PRG. Il est considéré que la part du R-404A diminue progressivement pour être nulle en 2020 au profit d'autres fluides : le R-744 principalement ainsi que le R-134a, R-448A, R-449A, R-450A et R-454C dans des proportions variables à partir de 2017.

Ces hypothèses ont été formulées en considérant les rapports d'inventaire des Mines [207], une communication de l'European Partnership for Energy and the Environment [1116] et l'évolution de la réglementation européenne ((EU) 517/2014).

Figure 107 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés en hypermarchés



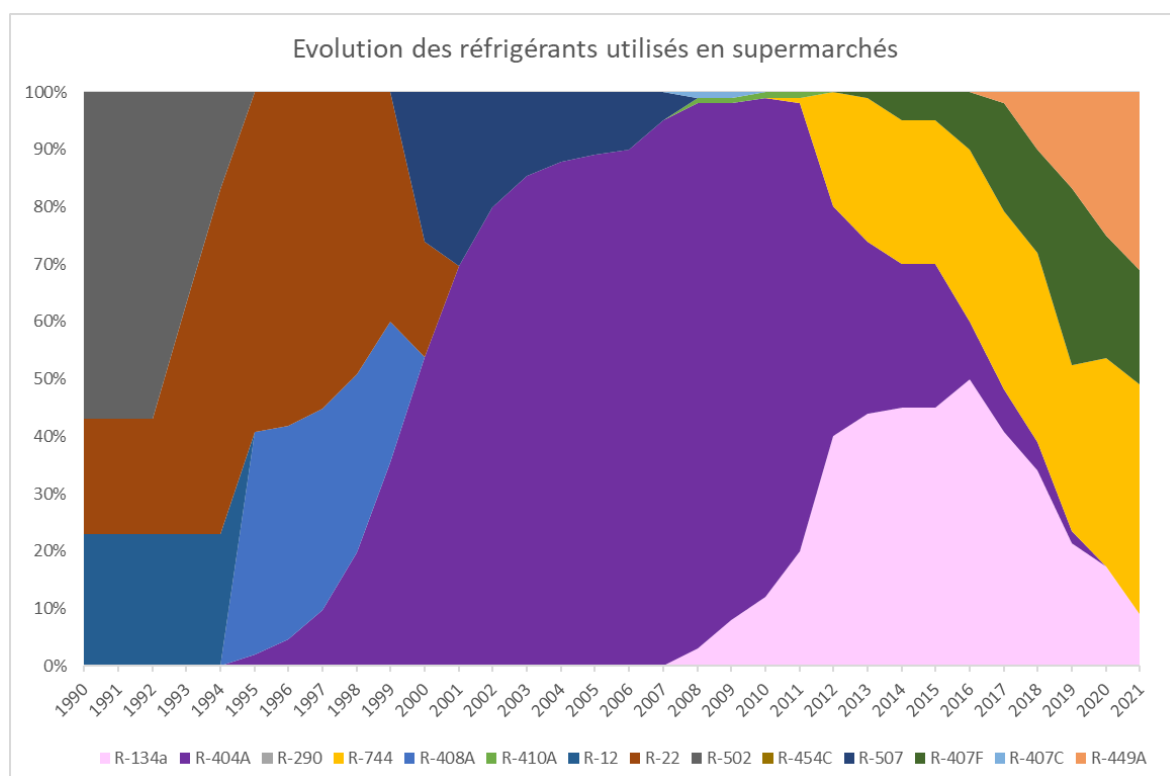
Supermarchés

A partir des années 1970 et jusqu'au milieu des années 1990, il est considéré que les installations frigorifiques centralisées des supermarchés sont principalement chargées au R-12, R-22 et au R-502. Aux termes du Plan Climat Européen de 1992, on estime que l'utilisation de ces fluides va être grandement réduite : le R-502 et le R-12 dans un premier temps puis le R-22 à la fin des années 1990. Des fluides de remplacements apparaissent alors, le R-408A en transition puis le R-404A.

De 2000 à 2010, l'utilisation du R-404A domine dans les supermarchés où l'on estime qu'il représente une part allant jusqu'à 95 %. De même que pour les supermarchés, du fait des systèmes cascade et indirects, le R-134a est progressivement introduit dans les années 2010 et la part du R-404A diminue. A partir de 2015, on fait l'hypothèse d'une baisse progressive de l'utilisation du R-404A au profit de nouveaux fluides frigorigènes aux potentiels de réchauffement globaux plus faible tels que le R-407A et le R-407F mais aussi le R-744.

Ces hypothèses ont été formulées en considérant les rapports d'inventaire des Mines [207], une communication de l'European Partnership for Energy and the Environment [1116] et l'évolution de la réglementation européenne.

Figure 108 - 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 2021 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 R-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 croît régulièrement jusqu'à aujourd'hui au détriment du R-134a.

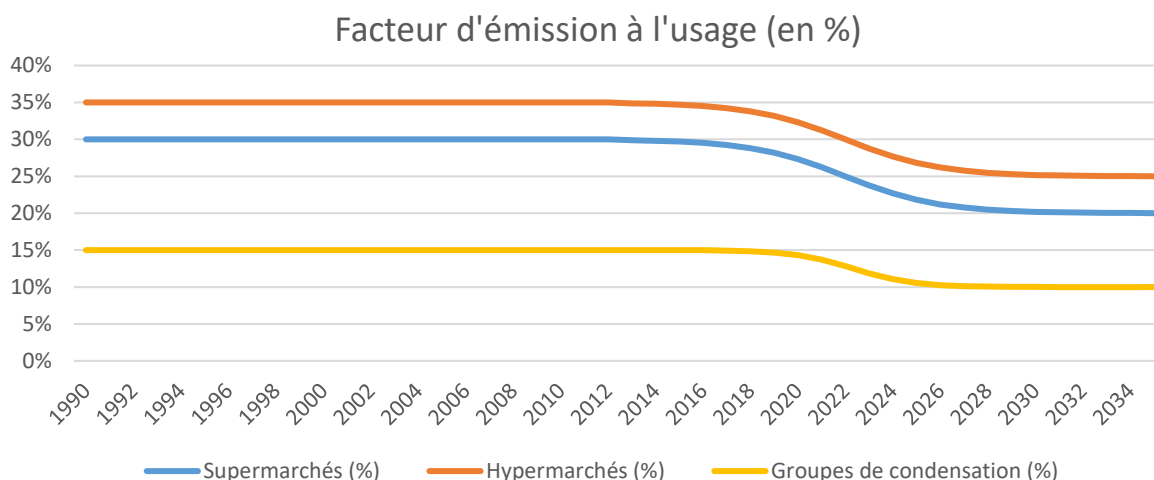
Ces hypothèses ont été formulées en considérant les rapports d'inventaire des Mines [207], une communication de l'European Partnership for Energy and the Environment [1116] et l'évolution de la réglementation européenne.

Facteurs d'émission**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 109 : 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 de l'environnement, des niveaux moyens ont pu être établis, régulièrement, sur un échantillon de magasins lors des études inventaires précédentes. Pour les années antérieures à 2013, on estime un taux d'émission fugitif constant de 30 %. Au-delà, on considère l'hypothèse d'une diminution de ce taux d'émission à hauteur de 25 % en 2022 [1127] et à hauteur de 20 % en 2035. Concernant les années intermédiaires, on estime ce taux par interpolation. 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 35 %. Au-delà, on considère une diminution de ce taux d'émission à hauteur de 30 % en 2022 [1127] et à hauteur de 25 % en 2035. 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 pose l'hypothèse d'une diminution de ce taux à 10 % en 2035. Les années intermédiaires, sont calculées par interpolation.

Fin de vie

Les émissions en fin de vie des équipements dépendent des quantités présentes dans l'équipement quand il atteint sa fin de vie et d'un facteur d'émission fin de vie traduisant l'efficacité des filières de récupération. A noter, dans le cadre de l'amélioration de la méthode de calcul, la charge réelle

de l'équipement est calculée au cours de sa durée de vie, tenant compte des occurrences de maintenance, permettant de ne pas surestimer les émissions de fin de vie, la charge de fin de vie tenant compte des émissions fugitives d'étant produites les années précédentes.

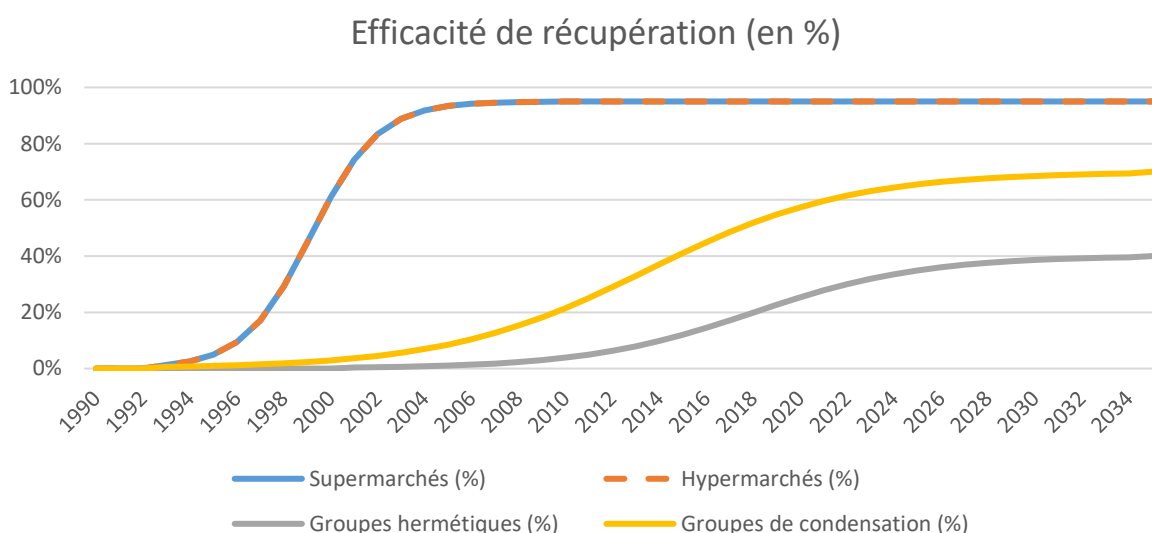
Concernant le secteur du froid commercial, ces facteurs ont été estimés avec un modèle de courbe en S comportant une année de démarrage de la récupération et une année asymptotique projetée en 2035.

Pour les hypermarchés et supermarchés, on considère une récupération nulle jusqu'en 1992 et un maximum supposé en 2035 à hauteur de 95 %. En 2020, 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 2020, on estime le taux à près de 55 %.

Enfin, pour les groupes hermétiques, on estime une récupération nulle jusqu'en 2000 et un maximum supposé en 2035 à hauteur de 40 %. En 2020, on estime le taux à près de 23 %.

Figure 110 : Efficacité de récupération en froid commercial (en %)



Les tableaux qui suivent compilent certains paramètres et facteurs d'émission utilisés dans le modèle.

Tableau 71 : Répartition des réfrigérants mis sur le marché par sous-application en 2020

Secteur	Sous-secteur	Réfrigérant	%
Domestic Appliances	Freezers	R-600a	100%
	Wine coolers	R-600a	100%
	Heat Pump tumble dryers	R-450a	20%
	Heat Pump tumble dryers	R-134a	40%
	Heat Pump tumble dryers	R-290	40%
	Refrigerators	R-600a	100%
Commercial Refrigeration	Hypermarkets	R-134a	10%
	Hypermarkets	R-450A	10%
	Hypermarkets	R-448A	10%
	Hypermarkets	R-454C	10%
	Hypermarkets	R-744	60%
	Small Stores Condensation Groups	R-450A	9%
	Small Stores Condensation Groups	R-407F	20%
	Small Stores Condensation Groups	R-454C	12%
	Small Stores Condensation Groups	R-448A	33%
	Small Stores Condensation Groups	R-744	15%
	Small Stores Condensation Groups	R-134a	10%
	Small Stores Hermetic Groups	R-600a	20%
	Small Stores Hermetic Groups	R-290	35%
	Small Stores Hermetic Groups	R-134a	18%
	Small Stores Hermetic Groups	R-1234yf	2%
	Small Stores Hermetic Groups	R-744	24%
	Supermarkets	R-449A	25%
	Supermarkets	R-407F	21%
	Supermarkets	R-134a	17%
	Supermarkets	R-744	36%
Refrigerated transportation	Reefers	R-134a	22%
	Reefers	R-410A	11%
	Reefers	R-717	51%
	Reefers	R-407C	11%
	Reefers	R-290	5%
	Refrigerated containers	R-744	19%
	Refrigerated containers	R-513A	38%
	Refrigerated containers	R-513B	13%
	Refrigerated containers	R-134a	17%
	Refrigerated containers	R-456A	13%
	Refrigerated industrial vehicles	R-134a	10%
	Refrigerated industrial vehicles	R-450A	10%
	Refrigerated industrial vehicles	R-452A	70%
	Refrigerated industrial vehicles	R-744	10%
	Refrigerated Light Commercial Vehicles	R-134a	4%
	Refrigerated Light Commercial Vehicles	R-450A	10%
	Refrigerated Light Commercial Vehicles	R-452A	81%
	Refrigerated Light Commercial Vehicles	R-744	5%
Industrial Refrigeration	Meat_industry	R-1234ze	5%
	Meat_industry	R-407F	5%
	Meat_industry	R-744	15%
	Meat_industry	R-717	75%
	Warehouses	R-134a	15%
	Warehouses	R-717	65%
	Warehouses	R-1234ze	9%
	Warehouses	R-744	10%
	Warehouses	R-407F	1%
	Milk_industry	R-1234ze	5%
	Milk_industry	R-744	5%
	Milk_industry	R-407F	5%
	Milk_industry	R-717	85%
	Ice_Rinks	R-407F	2%
	Ice_Rinks	R-449A	10%
	Ice_Rinks	R-134a	22%
	Ice_Rinks	R-717	58%
	Ice_Rinks	R-1234ze	8%
	Chemical_industry	R-449A	5%
	Chemical_industry	R-407F	2%
	Chemical_industry	R-1234yf	10%
	Chemical_industry	R-717	5%
	Chemical_industry	R-134a	78%
	Pharmaceutical_industry	R-1234yf	3%
	Pharmaceutical_industry	R-717	30%
	Pharmaceutical_industry	R-134a	67%
	Rubber_industry	R-1234yf	5%
	Rubber_industry	R-134a	90%
	Rubber_industry	R-717	5%

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Secteur	Sous-secteur	Réfrigérant	%
Industrial Refrigeration	Meat_industry	R-1234ze	5%
	Meat_industry	R-407F	5%
	Meat_industry	R-744	15%
	Meat_industry	R-717	75%
	Warehouses	R-134a	15%
	Warehouses	R-717	65%
	Warehouses	R-1234ze	9%
	Warehouses	R-744	10%
	Warehouses	R-407F	1%
	Milk_industry	R-1234ze	5%
	Milk_industry	R-744	5%
	Milk_industry	R-407F	5%
	Milk_industry	R-717	85%
	Ice_Rinks	R-407F	2%
	Ice_Rinks	R-449A	10%
	Ice_Rinks	R-134a	22%
	Ice_Rinks	R-717	58%
	Ice_Rinks	R-1234ze	8%
	Chemical_industry	R-449A	5%
	Chemical_industry	R-407F	2%
	Chemical_industry	R-1234yf	10%
	Chemical_industry	R-717	5%
	Chemical_industry	R-134a	78%
	Pharmaceutical_industry	R-1234yf	3%
	Pharmaceutical_industry	R-717	30%
	Pharmaceutical_industry	R-134a	67%
	Rubber_industry	R-1234yf	5%
	Rubber_industry	R-134a	90%
	Rubber_industry	R-717	5%
Chillers	Centrifugal compressors	R-1234ze	25%
	Centrifugal compressors	R-134a	75%
	Small chillers	R-407C	1%
	Small chillers	R-410A	99%
	Mid-size chillers	R-410A	99%
	Mid-size chillers	R-407C	1%
	Large chillers	R-12	0%
	Large chillers	R-407C	0%
	Large chillers	R-410A	12%
	Large chillers	R-32	12%
	Large chillers	R-134a	22%
	Large chillers	R-717	0%
	Large chillers	R-1234ze	54%
	Large chillers	R-22	0%
Stationnary air-conditioning	Small splits	R-410A	15%
	Small splits	R-32	85%
	Multi-splits	R-32	85%
	Multi-splits	R-410A	15%
	Large split systems	R-410A	81%
	Large split systems	R-32	19%
	Roof-top units	R-32	10%
	Roof-top units	R-410A	90%
	VRV	R-410A	100%
	Mobiles	R-290	100%
	Windows	R-410A	100%
	Consoles	R-410A	98%
	Consoles	R-407C	2%
	Cabinets	R-410A	100%
Heat Pumps	Air-to-water heat pumps	R-32	17%
	Air-to-water heat pumps	R-410A	82%
	Air-to-water heat pumps	R-407C	0%
	Water-to-water heat pumps	R-410A	70%
	Water-to-water heat pumps	R-407C	30%
	Ground-to-water heat pumps	R-407C	30%
	Ground-to-water heat pumps	R-410A	70%
	Ground-to-ground heat pumps	R-407C	30%
	Ground-to-ground heat pumps	R-410A	70%
	Heat pump water heaters	R-134a	100%
Mobile air-conditioning	Bus and coach AC	R-134a	100%
	Industrial vehicles AC	R-1234yf	10%
	Industrial vehicles AC	R-134a	90%
	Passenger car and VUL AC	R-1234yf	97%
	Passenger car and VUL AC	R-134a	3%
	Rail AC	R-407C	45%
	Rail AC	R-134a	55%

Tableau 72 : Facteur d'émission à la charge par sous-application sur 3 années

Secteur	Sous-secteur	2000	2010	2020
Chillers	Centrifugal compressors	2,8%	1,8%	1,5%
	Large chillers	2,8%	1,8%	1,5%
	Mid-size chillers	2,8%	1,8%	1,5%
	Small chillers	2,8%	1,8%	1,5%
Commercial Refrigeration	Hypermarkets	3,0%	2,7%	2,0%
	Small Stores Condensation Groups	3,0%	2,7%	2,0%
	Small Stores Hermetic Groups	3,0%	3,0%	3,0%
	Supermarkets	3,0%	2,7%	2,0%
Domestic Appliances	Freezers	1,5%	0,6%	0,2%
	Heat Pump tumble dryers	0,0%	0,0%	0,0%
	Refrigerators	1,5%	0,6%	0,2%
	Wine coolers	0,6%	0,6%	0,6%
Heat Pumps	Air-to-water heat pumps	2,8%	1,8%	1,5%
	Ground-to-ground heat pumps	2,8%	1,8%	1,5%
	Ground-to-water heat pumps	2,8%	1,8%	1,5%
	Heat pump water heaters	2,8%	1,8%	1,5%
	Water-to-water heat pumps	2,8%	1,8%	1,5%
Industrial Refrigeration	Chemical_industry	4,7%	2,4%	1,1%
	Ice_Rinks	4,7%	2,4%	1,1%
	Meat_industry	4,7%	2,4%	1,1%
	Milk_industry	4,7%	2,4%	1,1%
	Pharmaceutical_industry	4,7%	3,0%	2,5%
	Rubber_industry	4,7%	3,0%	2,5%
	Warehouses	4,7%	2,4%	1,1%
Mobile air-conditioning	Bus and coach AC	2,8%	1,7%	0,1%
	Industrial vehicles AC	2,8%	1,7%	0,2%
	Passenger car and VUL AC	2,8%	1,7%	0,2%
	Rail AC	2,8%	1,8%	1,5%
Refrigerated transportation	Reefers	3,4%	1,0%	1,0%
	Refrigerated containers	2,2%	1,0%	1,0%
	Refrigerated industrial vehicles	1,0%	1,0%	1,0%
	Refrigerated Light Commercial Vehicles	1,0%	1,0%	1,0%
Stationnary air-conditioning	Cabinets	4,7%	3,0%	2,5%
	Consoles	4,7%	3,0%	2,5%
	Large split systems	4,7%	3,0%	2,5%
	Mobiles	2,8%	1,8%	1,5%
	Multi-splits	4,7%	3,0%	2,5%
	Roof-top units	2,8%	1,8%	1,5%
	Small splits	2,8%	1,8%	1,5%
	VRV	2,8%	1,8%	1,5%
	Windows	2,8%	1,8%	1,5%

Tableau 73 : Facteur d'émission durée de vie par sous-application sur 3 années

Secteur	Sous-secteur	2000	2010	2020
Chillers	Centrifugal compressors	12%	4%	4%
	Large chillers	14%	6%	4%
	Mid-size chillers	15%	10%	5%
	Small chillers	12%	5%	4%
Commercial Refrigeration	Hypermarkets	35%	35%	25%
	Small Stores Condensation Groups	15%	15%	14%
	Small Stores Hermetic Groups	1%	1%	1%
	Supermarkets	30%	30%	22%
Domestic Appliances	Freezers	0%	0%	0%
	Heat Pump tumble dryers	0%	0%	0%
	Refrigerators	0%	0%	0%
	Wine coolers	0%	0%	0%
Heat Pumps	Air-to-water heat pumps	8%	3%	2%
	Ground-to-ground heat pumps	9%	5%	5%
	Ground-to-water heat pumps	9%	5%	5%
	Heat pump water heaters	0%	0%	0%
	Water-to-water heat pumps	8%	3%	2%
Industrial Refrigeration	Chemical industry	15%	15%	13%
	Ice Rinks	15%	15%	13%
	Meat industry	15%	14%	8%
	Milk industry	15%	14%	8%
	Pharmaceutical industry	15%	15%	14%
	Rubber industry	100%	18%	15%
	Warehouses	15%	15%	13%
Mobile air-conditioning	Bus and coach AC	20%	10%	10%
	Industrial vehicles AC	8%	8%	8%
	Passenger car and VUL AC	12%	8%	8%
	Rail AC	13%	6%	5%
Refrigerated transportation	Reefers	26%	15%	15%
	Refrigerated containers	35%	20%	20%
	Refrigerated industrial vehicles	15%	15%	12%
	Refrigerated Light Commercial Vehicles	35%	22%	19%
Stationnary air-conditioning	Cabinets	10%	6%	5%
	Consoles	10%	6%	5%
	Large split systems	10%	6%	5%
	Mobiles	2%	2%	2%
	Multi-splits	10%	6%	5%
	Roof-top units	10%	6%	5%
	Small splits	9%	4%	4%
	VRV	8%	5%	5%
	Windows	2%	2%	2%

Tableau 74 : Facteur d'émission fin de vie par sous-application sur 3 années

Secteur	Sous-secteur	2000	2010	2020
Chillers	Centrifugal compressors	5%	2%	2%
	Large chillers	94%	58%	17%
	Mid-size chillers	94%	58%	17%
	Small chillers	94%	58%	17%
Commercial Refrigeration	Hypermarkets	39%	5%	5%
	Small Stores Condensation Groups	97%	79%	43%
	Small Stores Hermetic Groups	100%	96%	75%
	Supermarkets	39%	5%	5%
Domestic Appliances	Freezers	100%	67%	58%
	Heat Pump tumble dryers	0%	0%	58%
	Refrigerators	100%	67%	58%
	Wine coolers	87%	67%	58%
Heat Pumps	Air-to-water heat pumps	100%	97%	56%
	Ground-to-ground heat pumps	100%	97%	56%
	Ground-to-water heat pumps	100%	97%	56%
	Heat pump water heaters	100%	97%	56%
	Water-to-water heat pumps	100%	97%	56%
Industrial Refrigeration	Chemical_industry	46%	7%	5%
	Ice_Rinks	46%	7%	5%
	Meat_industry	46%	7%	5%
	Milk_industry	46%	7%	5%
	Pharmaceutical_industry	37%	7%	5%
	Rubber_industry	100%	100%	37%
	Warehouses	46%	7%	5%
Mobile air-conditioning	Bus and coach AC	100%	100%	93%
	Industrial vehicles AC	100%	100%	93%
	Passenger car and VUL AC	100%	93%	46%
	Rail AC	87%	33%	13%
Refrigerated transportation	Reefers	99%	83%	63%
	Refrigerated containers	99%	78%	53%
	Refrigerated industrial vehicles	91%	35%	30%
	Refrigerated Light Commercial Vehicles	91%	35%	30%
Stationnary air-conditioning	Cabinets	100%	96%	42%
	Consoles	100%	96%	42%
	Large split systems	94%	58%	17%
	Mobiles	100%	97%	56%
	Multi-splits	100%	96%	42%
	Roof-top units	94%	58%	17%
	Small splits	100%	96%	42%
	VRV	94%	58%	17%
	Windows	100%	97%	56%

4.7.2.7 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.

4.7.2.8 Mousses isolantes (2F2)

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 boîtiers 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 boîtier, une quantité de 70 g de HFC par boîtier est ainsi utilisée. Les émissions obtenues sont calculées en multipliant les ventes de boîtiers 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 boîtier.

Mousses à alvéoles fermées

Les HFC sont émis à la production, à l'usage et en fin de vie.

➤ SPF

La production de polyuréthane projeté en France provient du Syndicat Français des techniques du polyuréthane Projeté (SFTPP) [689] pour 2013. Les projections faites à l'horizon 2018 ont été utilisées pour estimer les productions après 2013 et l'année 2019 en fonction de la tendance entre 2017 et 2018. Les HFC ont été consommés à partir du milieu des années 2000. La répartition des ventes par type de HFC est estimée à partir de données d'un formulateur de mousse de PU [690]. Les productions pour les années antérieures à 2013 ont été calculées à partir des tendances de ventes de HFC de ce même formulateur pour cette application.

Les émissions de HFC sont calculées, par type de HFC, en tenant compte de la masse des HFC contenus dans la production totale de polyuréthane projeté et à l'aide des facteurs d'émission des lignes directrices du GIEC 2006 pour la charge et pendant la durée de vie [691].

➤ Chauffe-eau

Du HFC-245fa est utilisé dans les chauffe-eaux depuis 2000. Ce HFC n'est pratiquement plus utilisé depuis 2016, remplacé par le pentane et à un degré moindre par le HFC-1234ze. Le GIFAM (Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'équipements Ménager) recense les ventes de chauffe-eau en France. La majorité des produits vendus en France est fabriquée en France et il est considéré que les importations compensent les exportations. Le GIFAM a réalisé une enquête auprès de ses membres pour connaître le type d'agent d'expansion utilisé ainsi que la quantité de HFC par appareil depuis 2000 [692]. Les quantités de HFC consommés par les fabricants sont calculées en fonction du nombre de chauffe-eau vendus, du type d'agent d'expansion et de la quantité de HFC injecté par appareil. Les émissions de fin de vie apparaissent à partir de 2015 où il est considéré que les HFC 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].

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 75 : 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 76 : Sources et données d'activités par sous-application des mousses

Activity data	Electric water heaters	Building (SPF)	Building (XPS)	Transport refrigeration	One component foam (OCF)	Automobile equipment	Production of polyurethanes systems
Source	GIFAM (French federation)	SFTPP (French federation)	Plant specific	special report supplied by EReIE in 2012	special report supplied by EReIE in 2012	Plant specific	Plant specific
Data	- Number of water heaters - 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

4.7.2.9 Extincteurs (2F3)

La méthode appliquée est de rang GIEC 1a avec FE spécifiques au pays.

Les émissions sont estimées par application en différenciant les émissions à la production, pendant la durée de vie de l'équipement et en fin de vie. Les sociétés de vente et d'installations d'extincteurs ont mis en place depuis 2000 un programme d'amélioration ayant pour objectif de réduire les taux d'émissions. Les HFC utilisés sont le HFC-227ea en grande majorité (96 %) et le HFC-23 à hauteur de 4 % [209]. Le HFC-23 n'est plus mis sur le marché depuis le 1^{er} janvier 2016 suite à 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 suite à des départs de feux, évolue de 2000 à 2010 pour tenir compte du programme d'amélioration des sociétés de vente et installateurs de réduire les taux d'émissions (amélioration sur les émissions intempestives).

Emissions à la fin de vie des équipements

Les émissions en fin de vie sont calculées en fonction de la banque et de la durée de vie des équipements. Il est considéré que la durée de vie des équipements est de 10 ans [209]. Le facteur d'émission national [693] correspond au taux d'émission de HFC au moment du recyclage des équipements en fin de vie. Ce taux est fourni par la principale entreprise qui recycle les HFC provenant des équipements d'extinction incendie et varie chaque année.

Les émissions des territoires d'Outre-mer sont estimées en fonction des émissions de la Métropole et d'un ratio basé sur le nombre d'emploi.

4.7.2.10 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 1^{er} 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 ventes de ce dernier soient en progression [1021].

Aérosols pharmaceutiques

Les émissions à la charge sont estimées à partir des déclarations des producteurs d'aérosols pharmaceutiques en France [19]. Un facteur d'émission national est utilisé et déduit à l'aide des quantités de HFC consommés et émises par les divers producteurs.

Le marché des aérosols pharmaceutiques en France métropolitaine est estimé annuellement par le plus important producteur français d'aérosols pharmaceutiques [521]. Les ventes dans les territoires d'Outre-mer UE et non UE sont déduites au prorata de la population. Les émissions sont calculées en fonction des ventes et de la charge de HFC par unité d'aérosols, estimé à 12 g de HFC/boitier [521]. Jusqu'en 2002 seul le HFC-134a est utilisé. A partir de 2003, le HFC-227ea est également employé comme propulseur (en quantité moindre) et la répartition de la consommation entre ces deux HFC est estimée en fonction de la production française.

A l'instar des aérosols techniques, l'usage des aérosols pharmaceutiques est totalement émissif et l'intégralité des HFC contenus dans les boîtiers est émis en deux ans. Ces émissions, réparties sur deux ans, peuvent engendrer des pics sur le facteur d'émission en cas de variation trop importante de la donnée d'activité entre deux années. C'est le cas par exemple en 2005 où le facteur d'émission du HFC-227ea est deux fois plus élevés qu'en 2004 car la consommation en 2005 était presque trois fois moins importante qu'en 2004 tandis que les émissions sont lissées sur ces deux années. Ainsi, il est possible d'avoir des facteurs d'émission supérieur à 100 % pour certaines années.

Les émissions en fin de vie sont nulles car elles sont supposées avoir lieu en totalité pendant la durée de fonctionnement de l'aérosol.

Les émissions des territoires d'Outre-mer sont estimées en fonction des émissions de la Métropole et d'un ratio basé sur la population.

4.7.2.11 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 C₆F₁₄ 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.

4.7.2.12 Autres applications (2F6)

Les émissions de HFC-134a du site de production de caoutchouc synthétique sont déclarées chaque année par l'exploitant [19].

4.7.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2^{ème} 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, retrofit). Le froid domestique, la climatisation fixe et les chillers sont trois domaines avec peu d'incertitude (estimée entre 3 et 5 % en première approche) liée essentiellement au paramètre de la durée de vie. Les autres secteurs ont des niveaux d'incertitude plus élevés, le transport étant le plus critique mais représentant la plus petite part des émissions.

Au global, l'incertitude moyenne estimée pour l'activité liée à la catégorie 2F est de 20 %.

L'incertitude pour les facteurs d'émission des HFC est également estimée à 20 %, pour les mêmes raisons.

4.7.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

La démarche qualité consiste à reconstituer la demande en fluides frigorigènes, soit le besoin pour la charge et la production d'équipements neufs ainsi que le besoin pour la maintenance du parc, et à la comparer aux marchés de fluides déclarés par les distributeurs. La vérification de cohérence entre les marchés déclarés (SNEFCCA, ADEME) et la demande calculée, par fluide frigorigène et par an, constitue l'étape de validation de l'inventaire. Les déclarations à l'observatoire de l'ADEME permettent également de comparer le besoin pour la maintenance aux quantités utilisées par les opérateurs, ce qui constitue une deuxième vérification de cohérence.

Chaque année, les mises à jour sont tracées, les évolutions des sources suivies et les interviews d'experts conservées. Le Citepa répertorie également les fichiers de résultats par domaine ainsi que tous les documents, rapports mondiaux ou conférences sur le sujet et cherche à améliorer constamment le croisement des données pour valider le plus précisément possible les résultats.

Par ailleurs, le Citepa contrôle chaque année s'il y a de nouveaux sites émetteurs de HFC en France à partir du registre déclaratif français [19] pour assurer l'exhaustivité des émissions des industriels (fabricants des secteurs mousses d'isolation, production d'aérosols et autres sites industriels).

4.7.5 Recalculs

Impact des recalculs du CRF 2F

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO ₂ e	0	1 129	6 120	12 205	13 672	14 820	15 845	16 155	17 085	18 023	18 286	18 277	18 234	18 098	17 872	17 096	15 593	14 011
Nouveau	kt CO ₂ e	0	1 019	6 025	12 017	13 444	14 590	15 726	15 890	16 708	17 485	17 707	17 632	17 504	17 279	16 910	16 326	14 690	12 857
Différence	kt CO ₂ e	0	-109	-95	-188	-229	-230	-118	-265	-377	-539	-578	-645	-729	-820	-962	-770	-904	-1 153
	%	-	-10%	-2%	-2%	-2%	-2%	-1%	-2%	-2%	-3%	-3%	-4%	-4%	-5%	-5%	-5%	-6%	-8%

Des recalculs à un niveau CRF 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, les recalculs provenant du CRF 2F1 sont les plus impactant sur les émissions.

4.7.5.1 Air conditionné et réfrigération (2F1)

Description des recalculs

- Froid commercial

Une correction a été appliquée à la méthode de calcul des émissions du rétrofit dans l'outil gaz fluorés. Cela joue sur les résultats du froid commercial à partir de 2014 (pour les hyper et supermarchés)

Mise à jour du parc des petits magasins sur la base des nouvelles données ACCOSS

Prise en compte plus importante de l'arrivée du R-448A et R-449A et diminution du facteur d'émission fugitif dans les hypermarchés, supermarché et petits commerces pour tenir compte de la pénurie de réfrigérant et de l'augmentation des prix

- Froid industriel

La méthode de calcul du froid industriel a entièrement été revue cette année et une large enquête a été menée. A la suite des éléments communiqués par certaines fédérations de l'industrie agroalimentaire, notamment l'ATLA (Association de la Transformation Laitière Française), une réduction des charges de réfrigérants au cours du temps a été prise en compte, de même qu'une plus forte pénétration de l'ammoniac sur l'ensemble des années, expliquant la baisse des émissions de HFC entre ces deux éditions de l'inventaire

La réduction des ratios de charge a été généralisée aux autres procédés industriels, ce qui sera confirmé lors de la prochaine édition par un complément d'enquête.

- Transport réfrigéré

Mise à jour des hypothèses sur les réfrigérants utilisés dans les reefers en prenant en compte les rapports RTOC (utilisation notamment plus importante du R-717 au lieu du R-410A).

- Climatisation mobile

Modification de l'estimation de la production de trains à partir des données du parc ferroviaire 2019

- Climatisation fixe

Mise à jour des productions des chillers et pompes à chaleur en France en 2019, légères modifications de la répartition des fluides pour la charge des armoires verticales et large split en 2019

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude (reconsolidation de la méthode) et de la transparence (amélioration des sources de données).

4.7.5.2 Mousses isolantes (2F2)

Description des recalculs

Correction du calcul de l'activité banque du transport frigorifique (les émissions durant l'usage de l'année N-1 n'étaient pas soustraites et les quantités en fin de vie non plus) -> engendre une très légère baisse des émissions à partir de 2002

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude.

4.7.5.3 Aérosols (2F4)

Description des recalculs

Aérosols pharmaceutiques :

Mise à jour des ventes d'aérosols pharmaceutiques par le fournisseur de la donnée (impact les années 2014 à 2019)

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude.

4.7.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
IPPU	2.F.1 Refrigeration and air conditioning - HFC Accuracy	The Party reported in its CRF table Table2(II)B-Hs2 for 2.F.1.c (industrial refrigeration) a manufacturing EF for HFC-143a of 218.58 per cent for 2019 (compared to 19.48 per cent for 2017). The ERT finds this percentage too high and unexplained for in the NIR. During the review, the Party clarified that the 2018 and 2019 R-143a emissions at manufacturing have been overestimated. The correct value should be about 0.25 tonnes of R-143a instead of 4.85 tonnes for the	The ERT recommends that the Party revise its assumptions for EF from manufacturing and report the correct values in its next submission (as well as reporting on the resulting recalculations). The ERT further recommends the Party to improve the QA/QC of its reporting to avoid such obvious errors in the future.	2021 Review PMF* / I.19	Implemented. All the time series have been reviewed and improved for this sector 2.F.1.c (industrial refrigeration). Furthermore, QAQC procedures have been improved also including an EF outlier tool.

		manufacturing emissions. This means a correction of about 20.6 kt CO2 eq. The party confirmed that this will be corrected with the implementation of the food industry sector in the new tool next year.....			
--	--	--	--	--	--

4.7.7 Améliorations envisagées

Air conditionné et réfrigération (2F1) :

Certaines hypothèses et tendances sont à confirmer, notamment pour le froid industriel et le froid commercial. En froid industriel, l'enquête de terrain a permis de dégager des premières tendances, principalement pour les industries agroalimentaires de la viande et du lait. En revanche, aucune réponse n'a été obtenue des procédés industriels (chimie, pharmacie). Un parallèle de tendances décroissantes et d'utilisation des fluides frigorigènes a été pris en compte mais doit être ajusté en fonction des données qui seront communiquées. De plus, le sous-secteur « autres industries agroalimentaires » pourrait être décomposé si des données plus fines concernant les niveaux de productions et les caractéristiques frigorifiques des installations pouvaient être obtenues.

4.8 Autres usages et fabrication de produits (CRF 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 CRF 2 précédents. Les secteurs sont divers et les GES correspondants également (N₂O, SF₆, PFC et HFC).

4.8.1.1 Equipements électriques (2G1)

En 2020, ce secteur n'est pas une catégorie clé.

Le SF₆ 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 SF₆ 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 SF₆ dans ce domaine d'application.

Trois catégories d'émissions de SF₆ 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 SF₆ chargées dans les équipements électriques sont beaucoup plus importantes que la variation de la banque de SF₆ en France d'une année à l'autre pour cette application.

4.8.1.2 Autres utilisations de SF₆ et PFC (2G2)

D'autres sources que les équipements électriques sont consommatrices et émettrices de SF₆ 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.

SF₆ utilisé dans les chaussures de sport

Les SF₆ est utilisé dans les chaussures de sport dont la semelle contient un coussin d'air qui contient le SF₆. Ce gaz a été utilisé jusqu'en 2000.

SF₆ utilisé dans le secteur industriel

Du SF₆ 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 SF₆ afin de le réutiliser ou le recycler.

SF₆ utilisé par les AWACS

Le SF₆ 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.

SF₆ utilisé par les accélérateurs de particules

Le SF₆ 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).

SF₆ utilisé dans la recherche

Le SF₆ 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 SF₆ pour cette activité [558]. De plus, ce gaz est utilisé comme gaz traceur

dans le secteur agricole afin de connaître 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 $\text{C}_{10}\text{F}_{18}$.

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 CRF 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 médical est de 1 800 t dont 90 % pour le secteur médical. Le marché pour l'anesthésie en Europe en 2000 est donc évalué à 1620 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]. Elles sont estimées à environ 25 millions d'unités en France métropolitaine et sont considérées comme étant constantes d'une année à l'autre.

4.8.1.4 Autres utilisations de HFC et solvants (2G4)

Les HFC peuvent être utilisés dans les systèmes de cycles organiques de Rankine 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. Les HFC-365mfc et HFC-245fa sont utilisés dans cette application. Concernant les solvants, pour plus de détails, se référer au chapitre 4.5.1.3.

4.8.1.5 Autres utilisations de carbonates (2G4)

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 (4 sites) et certaines centrales thermiques (4 sites) 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 et 2020 pour les trois 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.

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 CO₂ 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 CO₂/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/fr/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 SF₆ installées et les émissions associées déclarées par les producteurs d'équipements électriques [214]. A partir de 2014, les émissions de SF₆ proviennent des déclarations des industriels [19] et les consommations de SF₆ 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 SF₆ installée, les taux de fuites intrinsèques aux équipements et les taux de fuites à la maintenance. Pour les années antérieures, la quantité de SF₆ présent 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 SF₆ présents 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 SF₆ sont ajoutées pour ces opérateurs en supposant un même rendement au niveau de la maintenance des équipements électriques.

Les émissions des territoires d'Outre-mer sont estimées par territoire au prorata de la production d'électricité et en utilisant le même taux d'émission que celui de la métropole.

Emissions à la fin de vie des équipements

Les équipements électriques en fin de vie sont supposés apparaître 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 SF₆ restant dans les équipements au moment du retrait est fournie par une entreprise qui traite le SF₆ 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 SF₆ récupérées. Les émissions de SF₆ sont ainsi estimées à l'aide de ce taux d'émission et des quantités de SF₆ 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 SF₆ présentes dans les équipements peuvent varier significativement. Par conséquent, les quantités de SF₆ récupérées dans les équipements électriques en fin de vie peuvent varier de manière non négligeable d'une année à l'autre.

Les émissions de SF₆ des territoires d'Outre-mer sont estimées à l'aide des émissions de la Métropole et d'un ratio basé sur la production d'électricité.

4.8.2.2 Autres utilisations de SF₆ et PFC (2G2)

Le niveau de méthode utilisé dépend des secteurs considérés.

SF₆ 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 SF₆ est émis en deux ans.

SF₆ utilisé dans le secteur industriel

Les émissions de SF₆ sont estimées par bilan matière et sont déclarées aux DREAL [19] chaque année par les exploitants.

SF₆ utilisé par les AWACS

Les émissions de SF₆ 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 des quantités chargées dans les avions et qui ne sont pas récupérées.

SF₆ utilisé par les accélérateurs de particules

Les émissions de SF₆ 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 Sûreté 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 SF₆ 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 SF₆ 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 SF₆ est la méthode Tier 1 de l'IPCC 2006 qui est basée sur le nombre total d'accélérateurs qui consomment du SF₆ 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. A partir de 2017, la tendance de l'augmentation du parc d'équipement entre 2015 et 2016 est poursuivie. En fonction du type d'équipements, le nombre d'appareils utilisant du SF₆ 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 500 en 2016.

SF₆ utilisé dans la recherche

Les consommations ont été transmises par les organismes et instituts consommant du SF₆ dans leur activité [558], [651] et [652]. L'intégralité du SF₆ 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].

4.8.2.3 Autres utilisations de N₂O (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 N₂O contenu dans un boîtier de crème chantilly a été transmis par le CFA [561] et est égal à 6 g N₂O/unité. L'intégralité du N₂O 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 boîtiers de crème chantilly vendus en France par la quantité de N₂O contenue dans un boîtier.

4.8.2.4 Autres utilisations de HFC et solvants (2G4)

Pour les systèmes de cycles organiques de Rankine, 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).

Concernant les solvants, pour plus de détails, se référer au chapitre 4.5.2.3.

4.8.2.5 Autres utilisations de carbonates (2G4)

Chauffage urbain

Quatre sites de chauffage urbain mettent en œuvre une technique secondaire de désulfuration respectivement depuis 1991, 2008, 2012 et 2020.

Les émissions de CO₂ proviennent des déclarations annuelles de polluants [19].

Centrales thermiques

Quatre centrales thermiques sont équipées de systèmes de désulfuration afin de réduire les émissions de SO₂ (1 site depuis 1990, 1 site depuis 1995 et 2 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 2^{ème} niveau de la catégorie (i.e. 2G).

Les incertitudes sur les activités et facteurs d'émission estimées pour la catégorie 2G 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.

Il y a très peu d'équipements électriques en fin de vie (2G1), la plupart du temps la durée de vie de l'équipement électrique est prolongée par une maintenance plus importante. De plus, les quantités de SF₆ présentes dans les équipements peuvent varier significativement. Par conséquent, les quantités de SF₆ récupérées dans les équipements électriques en fin de vie et les émissions de SF₆ en fin de vie peuvent varier de manière non négligeable d'une année à l'autre.

Les incertitudes liées à l'activité sont respectivement égales à 5 %, 20 %, 10 %, 20 % et 30 % pour le CO₂, le N₂O, les HFC, les PFC et le SF₆.

Les incertitudes liées au facteur d'émission sont respectivement égales à 8 %, 1 %, 20 %, 10 % et 20 % pour le CO₂, le N₂O, les HFC, les PFC et le SF₆.

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 SF₆ 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 CRF 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 CRF 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 CRF 2G

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO ₂ e	2 270	2 588	2 192	1 865	1 811	1 814	1 872	1 757	1 779	1 703	1 709	1 625	1 531	1 463	1 501	1 603	1 517	1 396
Nouveau	kt CO ₂ e	2 270	2 588	2 192	1 865	1 811	1 814	1 873	1 757	1 780	1 703	1 710	1 626	1 532	1 464	1 503	1 605	1 512	1 403
Différence	kt CO ₂ e	-0,0000	+0,0000	+0,0000	-0,0000	+0,0000	+0,0000	+0,16	+0,31	+0,51	+0,73	+0,93	+1,1	+1,2	+1,1	+1,9	+2,2	-5,2	+7,8
	%	-0%	+0%	+0%	-0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	-0%	+1%

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

Les impacts concernent principalement les recalculs des CRF 2G1 pour 2018 et 2019, 2G2 mais principalement 2G4 (solvant).

4.8.5.1 Equipements électriques (2G1)

Description des recalculs

Mise à jour des consommations d'électricité des petits distributeurs en 2018 et 2019 suite à la prise en compte des données LTECV (légères augmentations).

Modification des émissions de SF₆ en 2019 (il manquait certaines émissions du réseau HTA).

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude.

4.8.5.2 Autres utilisations de HFC et solvants (2G4)

Description des recalculs

Utilisation de carbonates pour les techniques de désulfuration sur certaines usines de chauffage urbain et centrales thermiques.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude.

4.8.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
IPPU	2.G.1 Electrical equipment - SF ₆ (I.24, 2019) Consistency	Verify that the time series between 2015 and 2017 is accurate, and, if applicable, describe in the NIR the rationale for any fluctuation and peak in 2016 in order to improve the transparency and accuracy of reporting.	The Party reported in its NIR (p.433-434) on the methodology applied to collect AD and emission data. However, the Party has not reported on an emission trend analysis to explain interannual fluctuations. During the review, the Party clarified that all data for 2.G.1 is covered by a bottom-up plant based approach, not by calculation. It further specified that emissions are reported directly by ERDF/Enedis, the subsidiary in charge of managing the electricity distribution networks in France, RTE, the transmission system operator and EDF, the largest producer and	2021 Review PMF* / I.12	Implemented information have been implemented in the NIR

			supplier of electricity in France. The ERT considers that the recommendation has not yet been addressed because the Party has not reported on rationale of interannual fluctuations in emissions..		
IPPU	2.G.4 Other (other product manufacture and use) - HFC Consistency	<p>The Party reported in its CRF table Table2(II)B-Hs2 HFC emissions from stocks of ORC (operational emissions), however it did not report on AD or EF data in the same CRF table, all other entries are reported as "NO".</p> <p>During the review, the Party clarified that the ORC systems of heat recovery by organic Rankine cycle (ORC) is not very developed in France. These systems are recently used in France, since 2012 so for the moment the installations are not yet at the end of their lifetime, so no emissions from disposal occur yet. Furthermore, the practice for these ORC systems are such that F-gas charging for new equipment is always done in the industrial plants when installing the new systems, rather than at the manufacturing place. Nevertheless, charging emissions for new equipment at plant level are reported as being from manufacturing: this is why emissions reported as from manufacturing are not occurring every year (there is no new installation of ORC equipment every year). On the other hand, emissions from stocks always occur. The Party acknowledged that reporting of related</p>	The ERT recommends that the Party ensure consistency of its reporting of emissions by including AD, EF and emissions in this category. The ERT also recommends the Party to improve the QA/QC of its reporting to avoid such obvious inconsistencies in the future.	2021 Review PMF* / I.18	Not still implemented. Emissions split will be implemented in the CRF tables in the next submission.

		AD is missing in fact, and that it will be completed in the next submission.			
IPPU	2.G.1 Electrical equipment - SF6 Accuracy	<p>The Party reported in its CRF tables2(II)B-Hs2 time series of AD and emissions related to the use of SF6 in electric equipment. The ERT noted that there is a serious mismatch between the amounts of SF6 reported for new fillings and stocks and emissions related to new fillings, operation and end of life. Amounts of new fillings (AD) are in the order of magnitude of 1/3 of total annual stocks. However, nor stock nor emissions account for these amounts added to the system. Given the nature of equipment and their long-life time (assumed to be 40 years) and reported emissions from operation and end of life, there seem to be gap of 100s ton of SF6 unaccounted for. The ERT consulted the UNFCCC Locator tool and that showed that France, together with another EU MS, is responsible for ¾ of total amounts of new fillings in the EU, which seems unrealistic given the fact that electric equipment is related to country size and to population and industry activity among others. From the same Locator tool, the ERT found that reported emissions are less an outlier from this category compared to other Parties, so it could not conclude that there is an over- or underestimation of emissions during this centralized review.</p>	<p>The ERT strongly recommends the Party to report on this survey and its outcome in its next submission, to revise the AD time series, to perform a more thorough QA/QC procedure on reported AD for new fillings and stock and related emissions time series (from manufacturing, operation and end of life) of this category and to report transparently on any resulting recalculations.</p>	<p>2021 Review PMF* / I.20</p>	<p>Implemented. France is an important exporter of electrical equipment. Indeed, each year more or less 300 ton of SF6 are filled into new products by French manufacturer but only a small part is for French customer. For example, in 2013, 391 t of SF6 were consumed by French manufacturer but only 22,8 tons sold in France (6%). That's explain the different between high amount of SF6 filled into new products and only few interannual stock increases. Consequently, France do not considers this recommendation as an Accuracy issue but more information had been included in the next NIR 2022 to explain this phenomenon.</p>

		During the review, the Party clarified that emissions from his sector are covered by a bottom-up plant approach, not by a calculation. Emissions are reported directly by ERDF/Enedis, the subsidiary in charge of managing the electricity distribution networks in France, RTE, the transmission system operator and EDF, the largest producer and supplier of electricity in France. These organisations have set up an increasingly detailed monitoring system of their emissions, but the monitoring of the quantities installed is less precise. France proposes to conduct a more detailed survey next year to verify installed stocks and consistency with reported emissions.			
IPPU	2.G.1 Electrical equipment - SF6 Consistency	The ERT also noted that there is a trend rupture in stocks between 2010 and 2011 (minus 70 ton SF6). During the review, the Party clarified that the decline in the stock observed between 2010 and 2011 is linked to a break in the source of data used : data used between 1998 et 2010 are estimated by a linear interpolation and data since 2011 are annual data communicated by EDF, RTE and Enedis.	The ERT recommends that the Party investigate this more in detail and propose new estimates ensuring time series consistency and report on the outcome in its next submission.	2021 Review PMF* / I.21	Implemented. Corrections have been implemented to estimate the SF6 stocks and ensure to have a time serie consistency

4.8.7 Améliorations envisagées

Aucune amélioration prévue.

4.9 Autres procédés (CRF 2H)

4.9.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette catégorie ne regroupe que les émissions de CO₂ induites par la décarbonatation dans le secteur de la production de papier, comptabilisées dans le code CRF 2H1.

4.9.1.1 Décarbonatation pour la pâte à papier (2H1)

Ce secteur n'est pas une source clé en 2020.

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)

Le captage de CO₂ lors de la production de sucre (secteur 2H2) est indiqué pour information dans les tables CRF. Les émissions nettes de CO₂ venant de la décarbonatation, émises au niveau des sites de raffinage de sucre, sont incluses dans le 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 (CaCO₃) et du carbonate de sodium (Na₂CO₃), qui entraînent des émissions de CO₂, 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 (Na₂CO₃ acheté à des installations fabriquant du papier mi-chimique à base de soude). Il est émis sous forme de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 consommation de bicarbonate de soude et de production de papier sont les moyennes de la période 2013-2019 [19]. Les émissions de CO₂ induites par l'utilisation de bicarbonate de soude sont connues à partir de l'année 2019. Le facteur d'émission calculé en 2019 (t CO₂/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 CO₂. L'estimation de la quantité de CaCO₃ 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 CaCO₃ se retrouve dans les écumes de sucrerie : un rendement de 80 % de récupération des carbonates de la roche dans les écumes est pris en compte, soit 20 % de pertes. Ce captage des émissions de CO₂ est indiqué pour information dans les tables CRF.

Les émissions de CO₂ nettes venant de la décarbonatation, émises au niveau des sites de raffinage de sucre (= brutes - CO₂capté) sont incluses dans le secteur 2A2 (production de chaux) et correspondent donc à 20 % 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 2^{ème} niveau de la catégorie (i.e. 2H).

L'incertitude est de 5 % sur l'activité et de 10 % sur le facteur d'émission de CO₂.

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 CO₂ sont vérifiées par un organisme agréé avant d'être transmises aux autorités.

4.9.5 Recalculs

Impact des recalculs du CRF 2H

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nouveau	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+0,10
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

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

4.9.6 Améliorations envisagées

Pas d'amélioration envisagée.

5 AGRICULTURE (CRF 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 CRF 1A4c, et des émissions de CO₂ incluses dans le secteur CRF 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 :

- Émissions liées à l'élevage :
 - Fermentation entérique : CH₄
 - Bâtiments d'élevage : CH₄, N₂O (et à titre informatif : NH₃, NO_x, COVNM, PM)
 - Stockage fumier/lisier : CH₄, N₂O (et à titre informatif : NH₃, NO_x, COVNM)
 - Épandage fumier/lisier : N₂O (et à titre informatif : NH₃, NO_x, COVNM)
 - Pâturage : CH₄, N₂O (et à titre informatif : NH₃, NO_x, COVNM)
- Émissions liées à la fertilisation (autre que l'épandage des fumiers/lisiers précité) :
 - Fertilisation azotée minérale : N₂O (et à titre informatif : NH₃, NO_x)
 - Autre fertilisation organique comprenant les boues, les composts, les digestats et les déjections importées : N₂O (et à titre informatif : NH₃, NO_x)
- Émissions liées à l'utilisation de pesticides : HCB (à titre informatif)
- Émissions liées aux rizières : CH₄
- Émissions liées au travail du sol : PM (à titre informatif)
- Émissions liées au brûlage des résidus de récolte : nombreux polluants
- Émissions de CO₂ 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 CH₄ et de N₂O liées à la gestion des déjections selon les lignes directrices du Giec 2006 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 3.B Gestion des déjections).

Il n'y a pas de brûlage de savane (CRF 3E) en France.

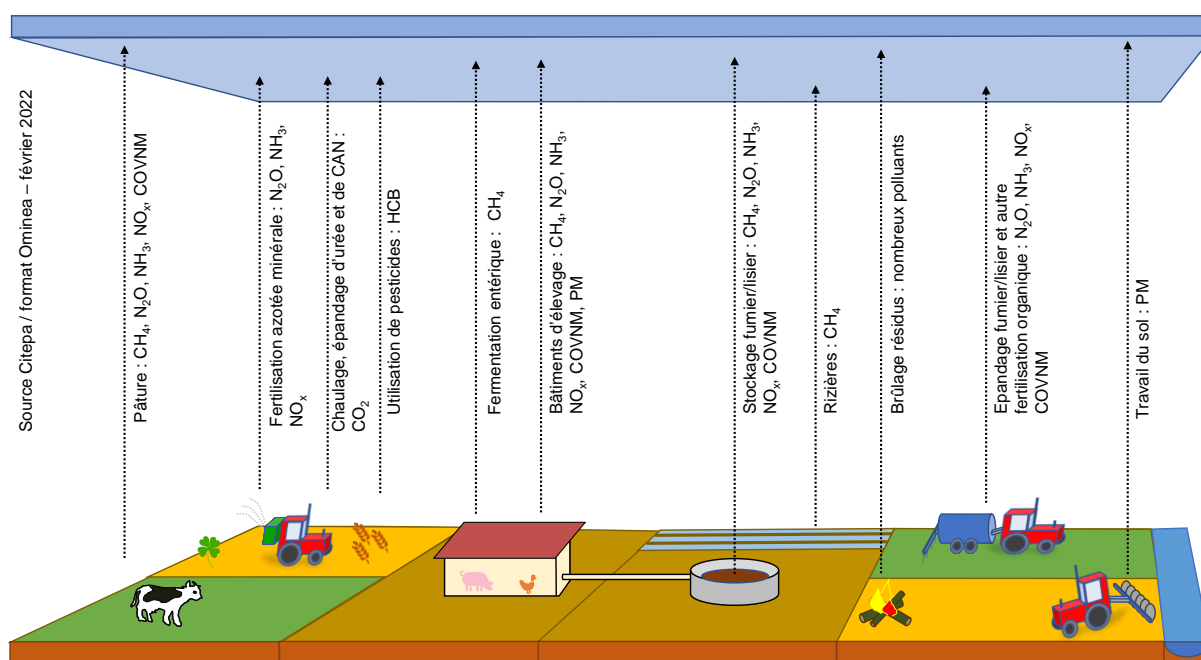


Figure 111: Postes d'émission et polluants associés en agriculture

Tableau 77 : Émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture

AGRICULTURE (périmètre Kyoto)			Secteurs-d.xlsx	
Polluants	1990		2020	
	Emissions en CO_2 eq (kt)	% du total national hors UTCATF	Emissions en CO_2 eq (kt)	% du total national hors UTCATF
CO_2	1 894	0,5%	1 859	0,6%
CH_4	42 218	61,0%	36 999	67,7%
N_2O	36 691	56,7%	31 529	86,9%
HFC	0	0,0%	0	0,0%
PFC	0	0,0%	0	0,0%
SF_6	0	0,0%	0	0,0%
NF_3	0	0,0%	0	0,0%
CO_2e	80 803	14,9%	70 386	17,9%

Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

L'agriculture est un émetteur prépondérant pour le N_2O et le CH_4 avec, en 2020, respectivement 86,9 % et 67,7 % des émissions de la France au périmètre Kyoto, 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 CRF, 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 .

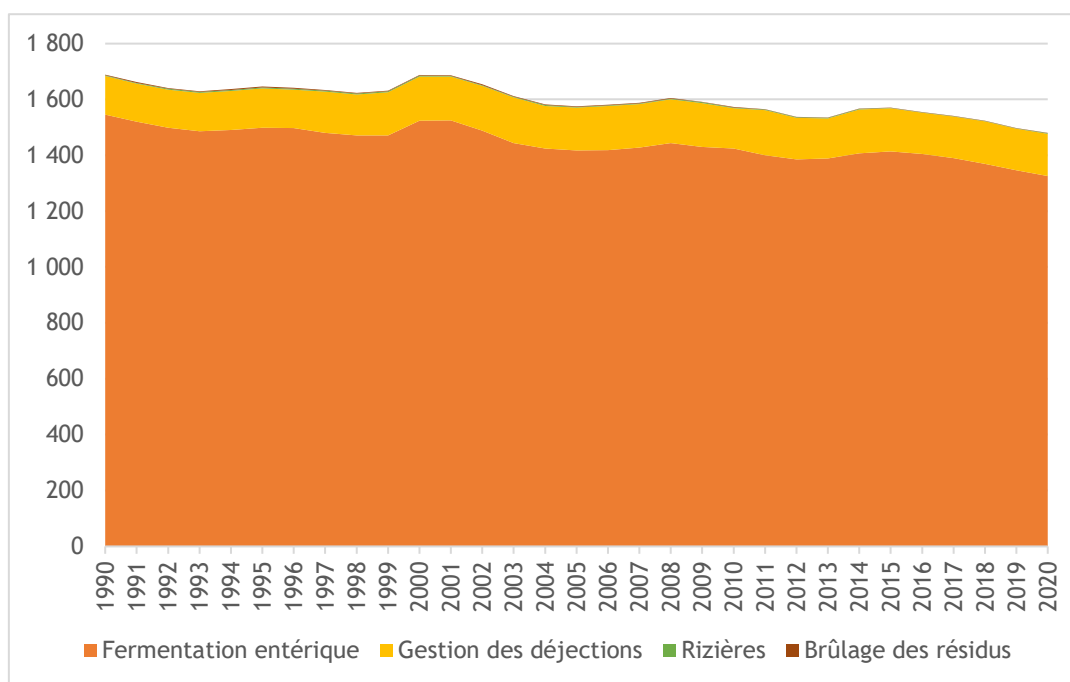


Figure 112: Evolution des émissions de CH₄ (kt) du secteur agricole - Périmètre Kyoto

Ces émissions ont légèrement diminué sur la période du fait notamment, de la baisse du cheptel 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.

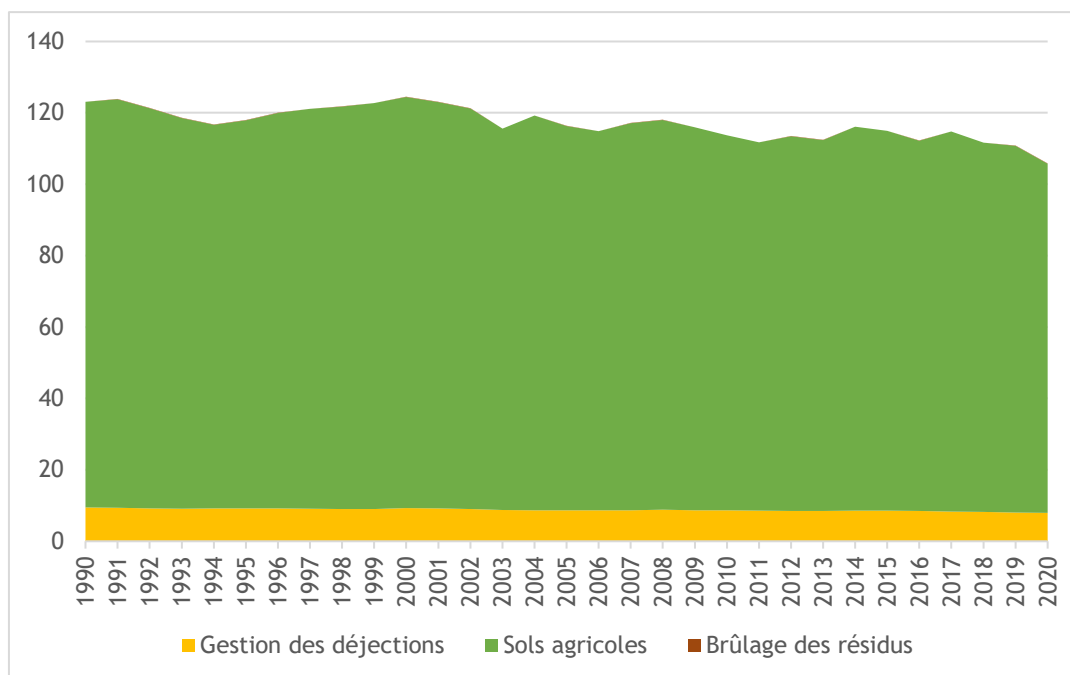


Figure 113 : Evolution des émissions de N₂O (kt) du secteur agricole - Périmètre Kyoto

La baisse des émissions constatée 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 78: Substances pour lesquelles le secteur CRF 3 est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	GES	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
3A - Enteric Fermentation	CH ₄	2 ^{ème}	8,4%	9 ^{ème}	2,6%
3B - Manure management	CH ₄	23 ^{ème}	1,0%	33 ^{ème}	0,6%
3B - Manure management	N ₂ O	30 ^{ème}	0,6%	-	-
3Da - Direct N ₂ O emissions from managed soils	N ₂ O	4 ^{ème}	6,1%	15 ^{ème}	1,9%
3Db - Indirect N ₂ O emissions from managed soils	N ₂ O	18 ^{ème}	1,3%	43 ^{ème}	0,4%

Système PACRETE pour l'élevage

L'estimation précise des émissions liées à l'élevage est un travail complexe qui nécessite notamment de compiler beaucoup d'informations issues de sources différentes. Un système a donc été mis en place au niveau des inventaires français pour gérer au mieux ces calculs : le système PACRETE (Programme Access pour le Calcul Régionalisé des Emissions aTmosphériques de l'Elevage). Le système PACRETE permet de rassembler des données régionales, issues de différentes sources, sur les effectifs animaux, l'alimentation, les types de bâtiments d'élevage, les pratiques d'épandage des effluents, le temps passé au pâturage, etc. Il permet ensuite de calculer, au niveau régional et de manière cohérente, l'ensemble des émissions liées à l'élevage en métropole. Les explications suivantes font partie intégrante de ce système.

A noter : le système PACRETE est utilisé uniquement pour la France métropolitaine (dont la Corse). Pour l'Outre-mer, les méthodes appliquées sont les mêmes mais les calculs sont effectués directement sous Excel.

La réforme des régions françaises

En 2015, la division territoriale de la France a été réformée, prenant effet à compter du 1^{er} janvier 2016. Le nombre de régions métropolitaines est passé de 22 à 13 (dont la Corse). Le tableau ci-dessous présente les correspondances entre anciennes et nouvelles régions.

Tableau 79 : 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
		21	Champagne-Ardenne
44	Grand-Est	42	Alsace
		41	Lorraine
52	Pays de la Loire	52	Pays de la Loire
53	Bretagne	53	Bretagne
		54	Poitou-Charentes
75	Nouvelle-Aquitaine	72	Aquitaine
		74	Limousin
76	Occitanie	91	Languedoc-Roussillon
		73	Midi-Pyrénées
84	Auvergne-Rhône-Alpes	82	Rhône-Alpes
		83	Auvergne
93	Provence-Alpes-Côte d'Azur	93	Provence-Alpes-Côte d'Azur
94	Corse	94	Corse

Les calculs d'inventaire dans le système PACRETE sont effectués au niveau des anciennes régions, présentant des périmètres plus petits ce qui permet d'avoir des données à une échelle plus fine. En revanche, cela implique parfois de retraiter les données d'activité qui, pour certaines d'entre elles, sont désormais disponibles uniquement au périmètre agrégé des nouvelles régions.

Cheptels

Les données de cheptels utilisées dans le cadre de l'inventaire national proviennent de la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée par le SSP [410], service statistique du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA). 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. Les données du recensement 2020 étant indisponibles au moment de la compilation des inventaires, ceux-ci s'appuient encore, pour certains paramètres, sur le recensement 2010. 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.

Le schéma ci-dessous représente les différents traitements effectués sur les données de la statistique agricole pour obtenir des séries cohérentes sur la période :

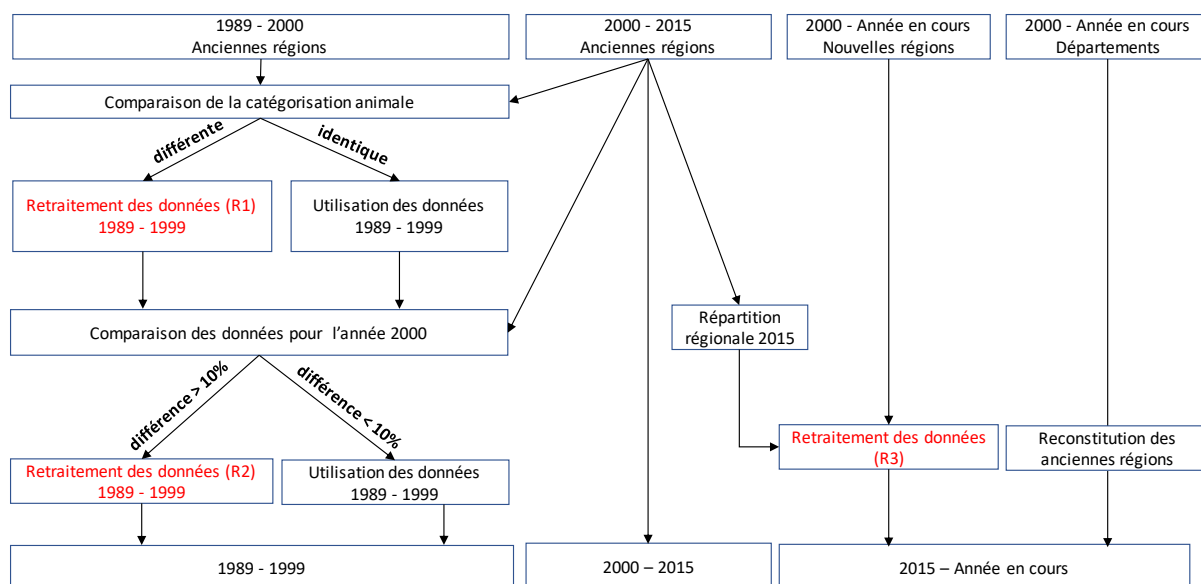


Figure 114 : Récapitulatif des méthodes d'ajustement de la statistique agricole annuelle (SAA)

Mise en cohérence des séries statistiques (de 1989 à 2015)

Suite au dernier recensement agricole disponible, qui a eu lieu en 2010, les données d'effectifs animaux sont disponibles sous la forme de deux séries : de 1989 à 2000 (jeu « historique ») et de 2000 à 2015 (« jeu récent »). L'analyse de chacune des populations animales pour l'année 2000, par ancienne région, a permis de vérifier la cohérence entre ces deux jeux de données.

Un premier retraitement a été effectué dans les cas où les catégorisations animales n'étaient pas identiques entre les deux séries, correspondant au « **Retraitement R1** » sur le schéma ci-dessus. Si une catégorie animale plus détaillée est disponible dans le jeu de données récent (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 récent 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 a été effectué pour s'assurer de la cohérence des séries sur la période, en appliquant le protocole suivant, nommé « **Retraitement R2** » sur le schéma ci-dessus :

- Si, pour l'année 2000, les données des deux séries pour une catégorie animale varient de plus de 10 %, un retraitement est effectué. Ce retraitement consiste à corriger le jeu de données historiques entre 1989 et 1999 sur la base du pourcentage d'écart observé l'année 2000.
- Si, pour l'année 2000, les données des deux séries pour une catégorie animale varient de moins de 10 %, les deux jeux de données sont jugés cohérents. Le jeu historique est utilisé pour la période de 1989 à 1999, le jeu récent pour la période de 2000 à l'année en cours.

Mise en cohérence des séries statistiques (de 2015 à l'année en cours)

Depuis 2016, le nombre de régions métropolitaines est passé de 22 à 13. Des nouvelles séries statistiques ont été publiées suite à cette modification, couvrant la période de l'année 2000 à l'année en cours. Les catégorisations proposées et les données d'effectifs dans ces nouvelles séries sont identiques à celles de la période 2000-2015. En revanche, le **périmètre géographique change**.

Les données pour les bovins, porcins, ovins et caprins sont disponibles par département (échelle territoriale en dessous de celle de la région), ce qui permet de reconstituer les anciennes régions, en agrégeant les départements pertinents. En revanche, pour les équins, volailles et lapins, les données ne sont disponibles qu'au niveau des nouvelles régions. Pour ces catégories, un retraitement, nommé « **Retraitement R3** » sur le schéma ci-dessus, a été effectué. La réforme territoriale ayant conduit à fusionner des régions (voir [Tableau 79](#)), pour désagréger la valeur à partir de 2016, la répartition régionale de l'année 2015 a été utilisée. Ci-dessous un exemple pour le Languedoc-Roussillon :

$$\text{Cheptel_Languedoc-Roussillon}_{2016} = \text{Cheptel_Occitanie}_{2016} \times \text{Cheptel_Languedoc-Roussillon}_{2015} / (\text{Cheptel_Languedoc-Roussillon}_{2015} + \text{Cheptel_Midi-Pyrénées}_{2015})$$

Cas particulier des porcins :

Pour les porcins, cinq catégories sont distinguées dans la SAA : porcelets, jeunes porcs de 20 à moins de 50kg, porcs à l'engrais de 50kg et plus, truies de 50kg et plus, et verrats de 50kg et plus. Un travail de vérification de la cohérence entre effectifs et productions a été effectué, en comparant la chaîne d'effectifs « porcelets - jeunes porcs de 20 à moins de 50kg - porcs à l'engrais de 50kg et plus » avec les données de productions fournies par la SAA.

Suite à cette analyse, il est apparu que la catégorie « porcelets » proposée dans la SAA pouvait être surestimée, car la statistique est évaluée à un moment précis de l'année, moment durant lequel une catégorie peut être plus représentée qu'une autre du fait des durées différentes passées par stade d'élevage. Le retraitement suivant a été effectué pour refléter au mieux la situation réelle de l'élevage porcin :

- La catégorisation proposée par la SAA (porcelets, jeunes porcs de 20 à moins de 50kg, porcs à l'engrais de 50kg et plus) a été abandonnée au profit de la suivante, jugée plus pertinente pour l'application, par la suite, des méthodes d'estimation des émissions : porcelets non sevrés (<8kg), porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg), porcs à l'engrais supérieur à 30kg.
- Les données d'effectifs des trois anciennes catégories de la SAA ont été sommées, puis réparties au prorata du temps passé par stade, méthode jugée plus fiable pour répartir les effectifs selon les nouvelles catégories définies. Ces temps passés par stade sont évalués à partir d'un outil développé par l'Institut du porc (IFIP) [759] permettant d'obtenir des courbes de croissance selon les poids d'entrée, de sortie et le gain moyen quotidien. Ces trois paramètres, qui varient depuis 1990, sont tirés des documents de Gestion Technico-économiques qui étaient publiés chaque année par l'IFIP jusqu'en 2016 [505]. Depuis, ces données ne sont plus publiques. 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.

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 (< 8 kg) sur la période varie entre 13,2 % et 15,2 %, celui passé au stade porcelets post sevrés (entre 8 et 30 kg) varie entre 25,6 % et 29 %, et celui passé au stade porcs à l'engrais supérieur à 30 kg varie entre 56,0 % et 61,2 %.

Tableau 80 : 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	13,2%	25,6%	61,2%		
	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 2020

Source Citepa / format Ominea février 2022

Graph_Ominea_3.xls/Repart_Porcins

Tableau 81 : Evolution du cheptel porcin détaillée par catégories fines (Métropole uniquement)

	Porcelets non sevrés (<8kg)	Porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg)	Porcs à l'engrais supérieur à 30kg	Truies de 50kg et plus	Verrats de 50kg et plus
1990	1 656 404	3 167 210	6 154 002	1 211 482	64 977
1991	1 695 945	3 203 032	6 209 917	1 250 484	63 419
1992	1 727 861	3 382 211	6 544 429	1 318 557	61 993
1993	1 790 296	3 493 561	6 777 968	1 330 958	58 102
1994	1 851 857	3 489 158	6 991 978	1 353 282	56 618
1995	1 880 976	3 532 531	7 021 628	1 377 027	51 373
1996	1 880 572	3 661 807	7 341 496	1 422 397	48 626
1997	1 924 417	3 668 301	7 487 276	1 461 480	46 149
1998	1 960 861	3 667 979	7 670 769	1 445 856	45 451
1999	1 971 929	3 739 626	7 602 463	1 416 732	41 242
2000	2 005 043	3 794 860	7 693 437	1 416 393	41 070
2001	2 035 949	3 859 998	8 051 912	1 377 798	37 269
2002	2 032 097	3 776 987	8 117 330	1 347 839	34 407
2003	2 002 167	3 728 682	8 053 755	1 303 733	30 850
2004	1 972 002	3 747 633	7 957 209	1 266 606	28 557
2005	1 951 140	3 643 205	7 968 561	1 243 800	26 435
2006	1 917 016	3 602 161	7 945 985	1 228 652	22 492
2007	1 860 447	3 634 226	7 978 585	1 197 926	21 158
2008	1 861 041	3 643 581	7 918 735	1 170 533	21 693
2009	1 840 469	3 516 949	7 834 182	1 148 992	20 135
2010	1 834 064	3 522 754	7 702 711	1 105 064	19 257
2011	1 790 355	3 437 929	7 531 770	1 094 142	18 390
2012	1 764 509	3 366 496	7 446 211	1 062 966	18 134
2013	1 732 281	3 254 036	7 347 904	1 035 700	17 633
2014	1 705 336	3 196 554	7 287 158	1 029 835	17 108
2015	1 609 301	3 124 197	7 302 280	1 012 517	16 970
2016	1 541 536	2 985 508	6 998 846	982 456	16 298
2017	1 580 940	3 061 822	7 177 746	994 164	16 280
2018	1 627 686	3 152 355	7 389 979	1 015 847	16 251
2019	1 614 551	3 126 917	7 330 347	980 806	15 629
2020	1 603 881	3 117 161	7 439 249	973 305	15 682

Cheptels utilisés dans l'inventaire français

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 82 : 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
Porcins	Porcelets non sevrés (<8kg)
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)
	Verrats de 50 kg et plus
	Porcs à l'engrais (>30kg)
Truies de 50 kg et plus	
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	
Volailles	Anes, mulets, bardots
	Poules pondeuses d'œufs à couvrir
	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
Autres	Cailles d'élevage
	Lapines reproductrices
	Cervidés d'élevage (<i>uniquement en Nouvelle-Calédonie</i>)

Il faut noter que cette catégorisation, à partir de laquelle les calculs sont effectués au sein de PACRETE, est plus fine que les catégories CRF/NFR. Cela pourra être à l'origine de variations des facteurs d'émission agrégés d'une année sur l'autre au niveau des catégories CRF/NFR, car les proportions des effectifs des catégories fines peuvent varier au sein d'une catégorie agrégée CRF/NFR.

Tableau 83 : Cheptels bovins, porcins, ovins et caprins au périmètre Kyoto sur la période 1990-2020

	Vaches laitières	Autres bovins	Truies	Autres porcins	Ovins	Caprins
1990	5 309 879	16 242 323	1 233 576	11 205 853	11 384 979	1 346 673
1991	5 030 532	16 215 506	1 270 952	11 332 726	11 017 582	1 333 799
1992	4 762 044	16 027 436	1 340 977	11 870 537	10 733 663	1 300 276
1993	4 639 292	15 941 626	1 351 451	12 265 923	10 466 951	1 273 827
1994	4 611 989	15 977 511	1 371 344	12 526 203	10 383 982	1 257 126
1995	4 521 433	16 157 707	1 392 952	12 610 244	10 265 394	1 296 495
1996	4 431 081	16 233 845	1 438 047	13 056 519	10 145 029	1 311 943
1997	4 322 610	16 041 776	1 476 250	13 242 875	9 961 033	1 300 454
1998	4 263 985	15 945 694	1 460 001	13 462 386	9 847 474	1 301 125
1999	4 222 968	15 990 348	1 430 342	13 473 245	9 705 361	1 296 852
2000	4 329 724	17 096 647	1 435 277	13 649 140	9 556 533	1 300 047
2001	4 344 205	16 967 065	1 396 359	14 100 016	9 430 831	1 323 236
2002	4 272 449	16 358 393	1 365 197	14 078 803	9 337 786	1 329 706
2003	4 123 155	15 814 907	1 321 086	13 940 380	9 293 082	1 332 798
2004	4 040 611	15 632 802	1 282 711	13 831 210	9 190 433	1 327 327
2005	3 979 348	15 596 677	1 258 940	13 700 318	9 111 179	1 338 526
2006	3 888 099	15 805 005	1 242 814	13 590 314	8 864 245	1 352 572
2007	3 876 334	16 003 460	1 211 974	13 599 300	8 564 694	1 351 245
2008	3 856 380	16 150 587	1 184 516	13 551 002	8 162 759	1 361 965
2009	3 747 898	16 070 891	1 162 772	13 317 957	8 062 526	1 417 888
2010	3 718 782	15 853 543	1 116 756	13 170 299	7 963 495	1 447 651
2011	3 666 694	15 436 965	1 105 817	12 869 637	7 659 836	1 392 751
2012	3 645 776	15 378 917	1 074 340	12 685 573	7 462 987	1 319 295
2013	3 699 843	15 415 398	1 046 738	12 438 668	7 240 098	1 302 165
2014	3 701 096	15 567 375	1 040 948	12 294 244	7 182 159	1 296 209
2015	3 663 864	15 742 902	1 023 343	12 139 048	7 065 558	1 273 226
2016	3 637 015	15 736 368	993 896	11 632 720	7 045 968	1 258 204
2017	3 596 837	15 356 747	1 005 348	11 925 509	6 901 456	1 270 737
2018	3 554 660	15 071 960	1 026 525	12 271 187	7 048 720	1 302 107
2019	3 490 810	14 682 160	991 614	12 174 795	6 956 699	1 302 759
2020	3 405 683	14 409 988	984 495	12 260 712	6 923 442	1 394 304

Tableau 84 : Cheptels équins, volailles et lapines au périmètre Kyoto sur la période 1990-2020

	Chevaux	Mules et ânes	Poules	Poulets	Autres volailles	Lapines reproductrices
1990	407 976	17 161	74 047 456	126 226 389	68 619 361	2 191 756
1991	415 337	17 868	75 154 072	129 299 116	70 855 736	2 144 889
1992	424 813	18 307	76 905 164	130 260 251	73 533 162	2 172 623
1993	437 816	20 396	75 471 238	136 252 725	75 532 474	2 023 756
1994	448 612	21 634	75 437 654	137 306 370	77 300 603	1 816 856
1995	465 009	23 959	78 103 904	135 300 064	80 809 348	1 685 623
1996	479 372	26 932	78 260 215	141 332 660	81 614 426	1 639 056
1997	498 527	29 525	79 574 674	144 918 060	83 563 146	1 534 056
1998	512 404	32 077	80 818 835	145 717 460	84 666 217	1 481 746
1999	525 092	40 000	79 978 450	137 344 614	84 493 476	1 466 796
2000	549 057	43 492	78 399 550	129 871 534	84 820 130	1 388 732
2001	550 093	46 785	79 896 550	133 350 129	87 891 167	1 339 106
2002	572 829	47 454	79 562 550	131 518 724	85 987 204	1 300 056
2003	574 403	49 202	78 669 550	134 593 318	81 586 242	1 202 056
2004	578 121	49 434	75 711 550	130 574 945	76 936 281	1 184 556
2005	578 424	50 069	75 353 976	128 785 634	73 854 663	1 129 416
2006	572 975	50 190	72 860 402	124 002 324	75 521 045	1 053 556
2007	576 379	48 821	73 840 829	130 961 013	76 353 427	1 061 556
2008	579 643	47 819	75 502 255	134 717 702	74 222 809	1 012 556
2009	581 212	48 009	76 846 681	140 325 391	71 223 192	893 556
2010	582 539	49 130	78 117 107	143 981 081	70 693 574	878 556
2011	583 905	48 130	72 932 486	150 833 273	70 769 560	871 591
2012	571 066	44 424	77 387 864	154 622 465	68 867 547	838 226
2013	562 764	44 099	84 849 243	157 185 657	67 297 534	827 826
2014	560 631	42 596	85 866 621	157 431 849	68 919 520	840 426
2015	549 457	41 792	86 165 000	161 218 041	69 454 507	830 026
2016	529 405	39 728	85 983 000	158 734 041	64 953 507	767 626
2017	524 804	38 171	86 507 000	158 142 041	62 360 507	731 626
2018	524 012	36 420	82 222 000	156 924 041	62 732 507	712 626
2019	517 255	35 169	81 453 000	156 241 041	61 012 507	669 626
2020	515 915	33 345	84 087 000	157 771 041	55 268 507	624 626

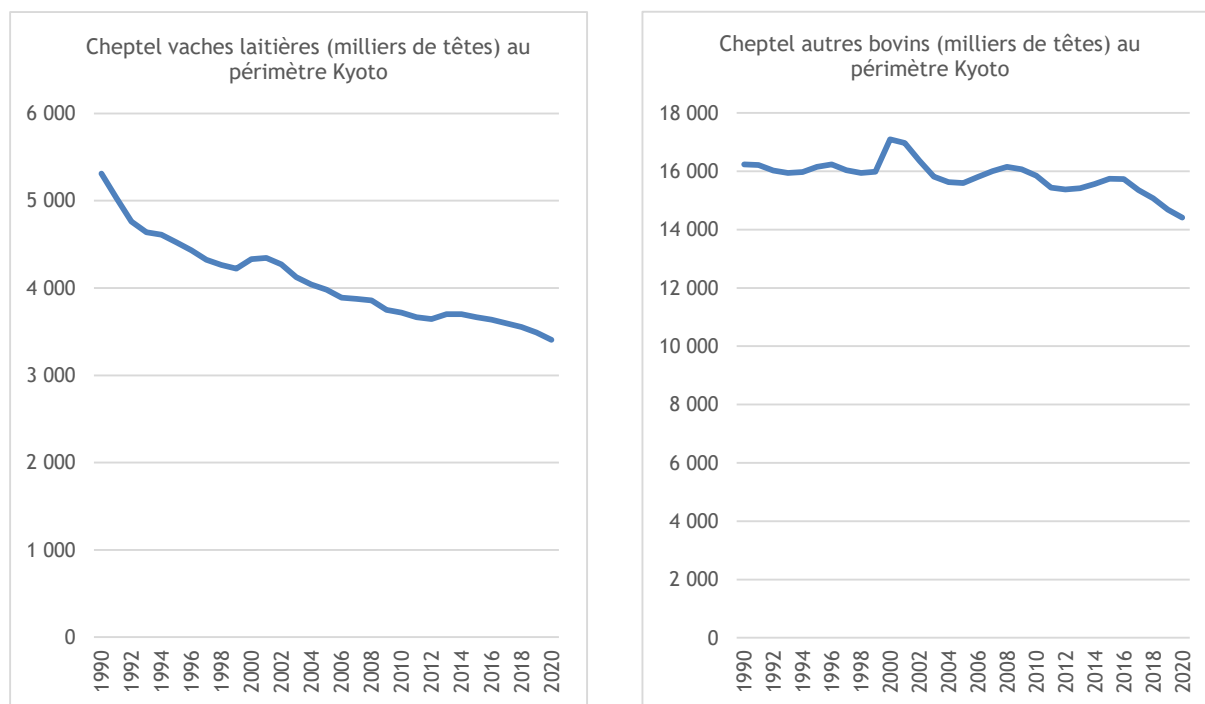
Evolution des cheptels sur la période

Figure 115 : Evolution des cheptels bovins au périmètre Kyoto

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'Idèle¹⁶, la suppression des quotas laitiers en 2015 n'a eu qu'un effet conjoncturel de rétention des vaches par les éleveurs sur les 2 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, entre 2000 et 2020, à une légère érosion des effectifs qui s'accroît sur les dernières années. L'Idèle 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.

¹⁶ Institut de l'Elevage

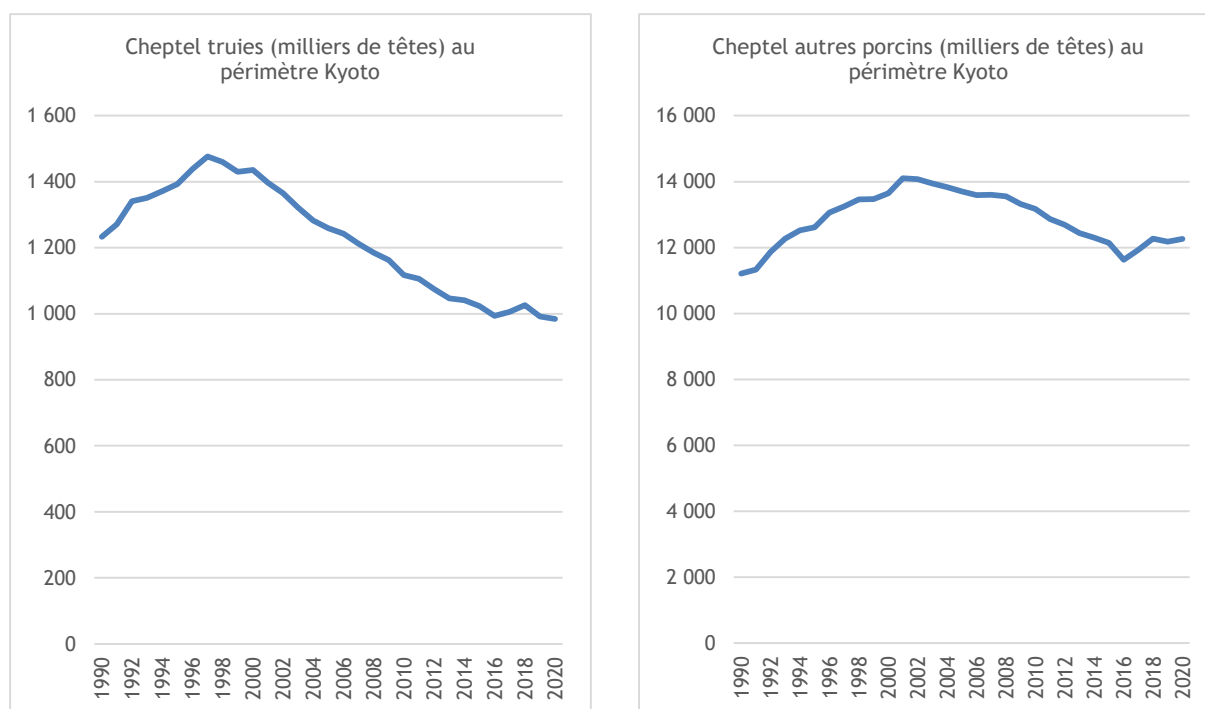


Figure 116 : Evolution des cheptels porcins au périmètre Kyoto

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, la pandémie de Covid-19 perturbe les marchés exports et le débouché restauration hors domicile (RHD).

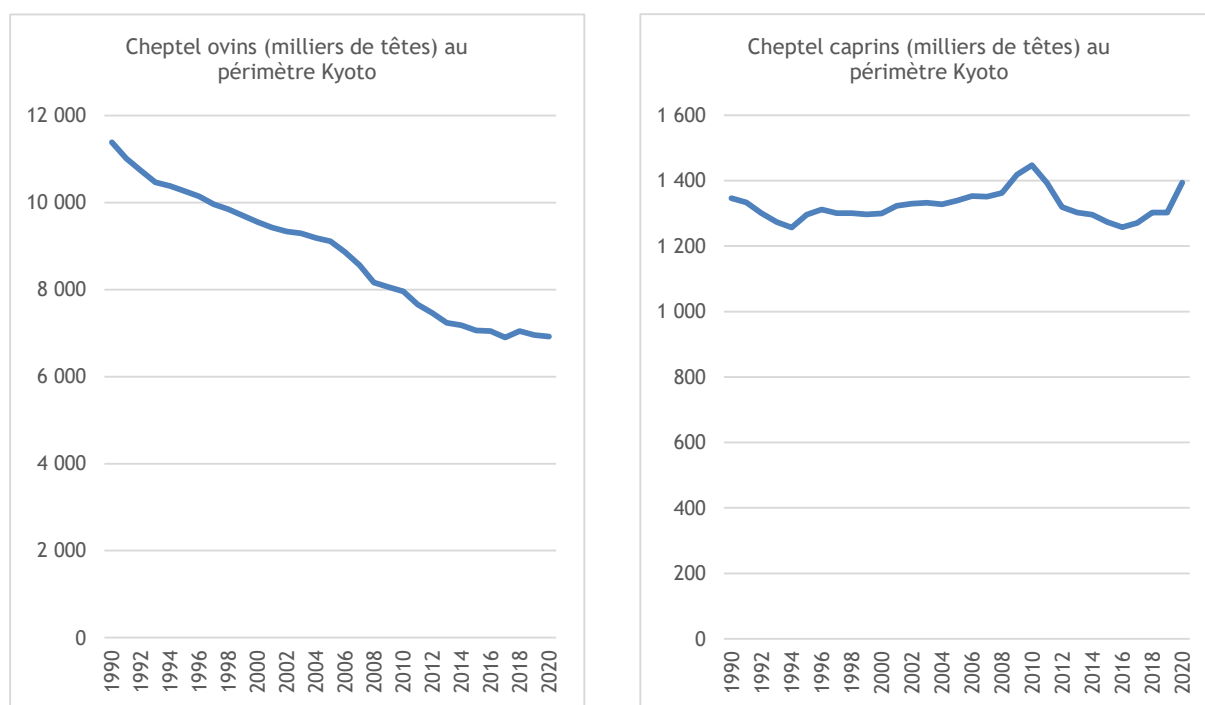


Figure 117 : Evolution des cheptels ovins et caprins au périmètre Kyoto

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, entraînant 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, entraînant 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. Depuis 2016, le cheptel repart à la hausse du fait d'une amélioration de la conjoncture.

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

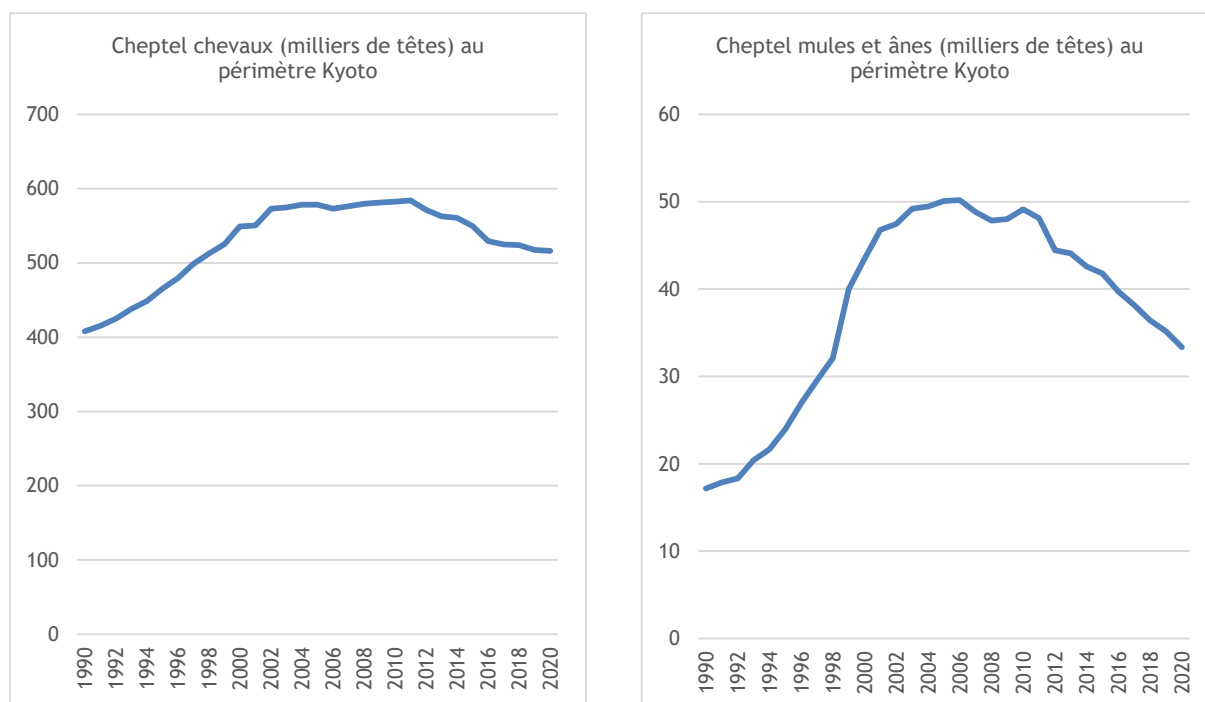


Figure 118 : Evolution des cheptels équins au périmètre Kyoto

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 depuis 2013, les activités de loisirs équestres sont également en baisse.

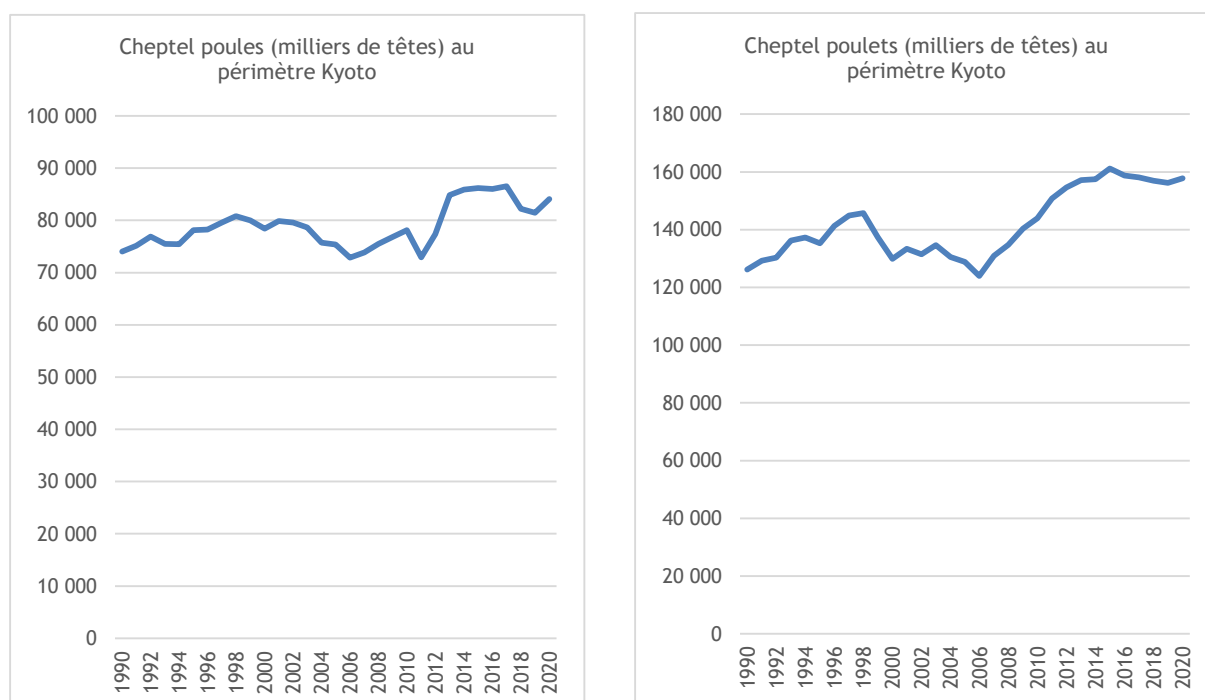


Figure 119 : Evolution des cheptels poules et poulets au périmètre Kyoto

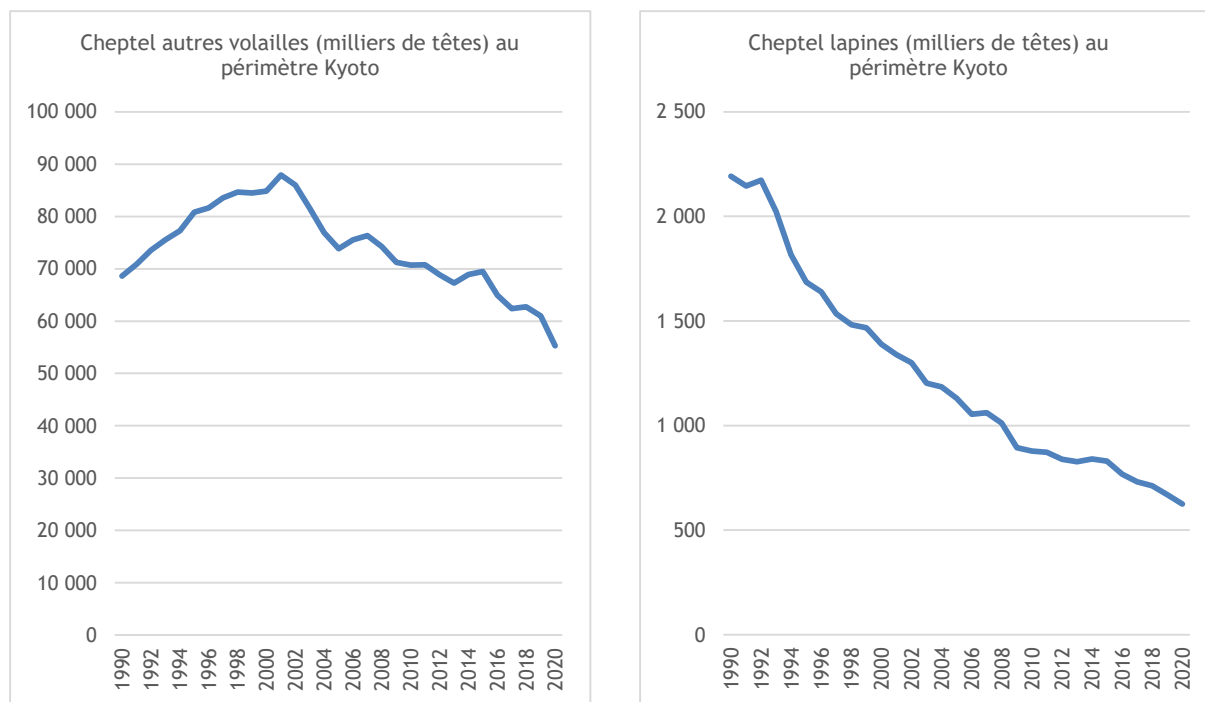


Figure 120 : Evolution des cheptels autres volailles et lapines au périmètre Kyoto

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). Entre 2016 et 2019 on observe une accélération de cette transition des modes d'élevage de poules.

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.

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. Le cheptel de palmipèdes fait quant-à-lui face à des épidémies successives d'influenza aviaire sur la période récente (2015, 2016, 2020) orchestrant un recul du cheptel. 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.

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 virale du lapin (VHD) qui fragilisent la filière.

Systèmes de gestion des déjections animales - Les enquêtes

L'étude des Systèmes de Gestion des Déjections Animales (SGDA) permet d'obtenir des données essentielles pour la réalisation des inventaires notamment :

- les temps passés en bâtiment et à l'extérieur (pâturages, parcours),
- la répartition des effluents entre systèmes (fumier, lisier, litière accumulée).

Ces informations sont en grande partie issues des enquêtes bâtiments d'élevage [480] et des enquêtes pratiques d'élevage [980] réalisées périodiquement par les services statistiques du MAA.

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**.

La description détaillée du traitement des données des enquêtes est incluse en Annexe 3.

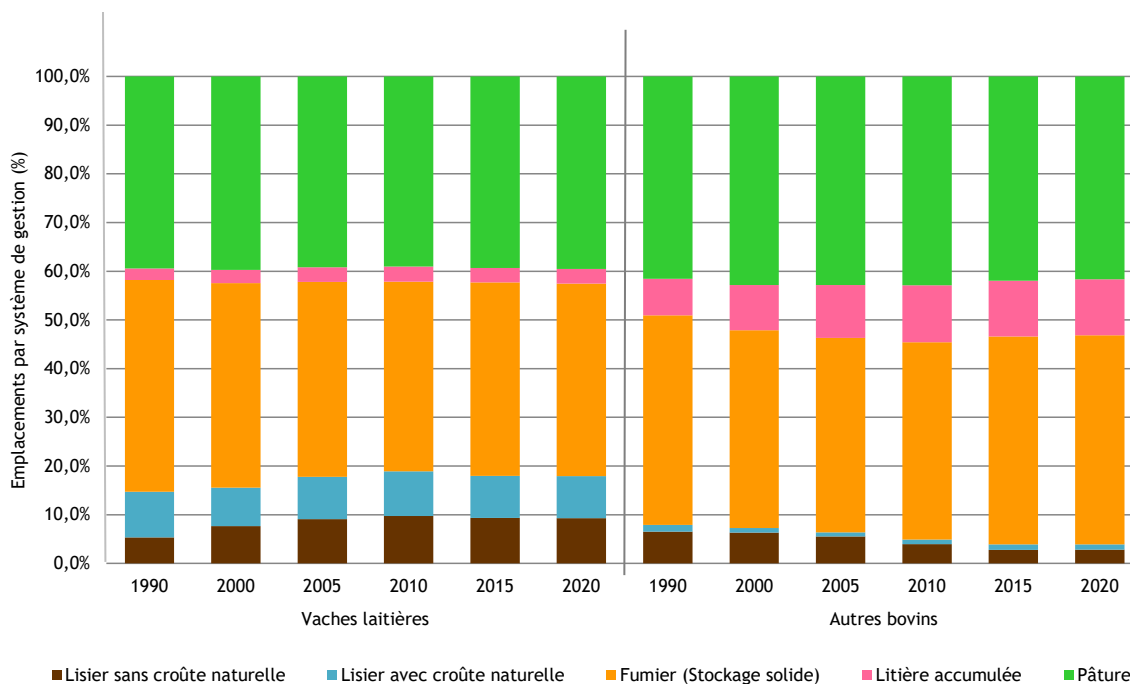
Pour les bovins, 5 systèmes de gestion des déjections sont distingués :

- 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 ;
- Pâturage.

Ne disposant pas de données spécifiques aux DOM COM, les données de la métropole sont utilisées.

Tableau 85 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins (périmètre Kyoto)

		Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Litière accumulée	Pâturage
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%	39,0%	3,1%	39,0%
	2015	9,3%	8,6%	39,7%	3,0%	39,3%
	2020	9,3%	8,7%	39,5%	3,0%	39,5%
Autres bovins	1990	6,5%	1,4%	43,1%	7,5%	41,5%
	2000	6,3%	1,0%	40,6%	9,3%	42,8%
	2005	5,5%	0,9%	39,9%	10,9%	42,8%
	2010	4,0%	0,9%	40,5%	11,7%	42,9%
	2015	2,8%	1,1%	42,7%	11,5%	41,9%
	2020	2,8%	1,1%	42,9%	11,5%	41,7%



Source Citepa / format Ominea - février 2022

Graph_OMINEA_3.xls/SGDA

Figure 121 : Répartition entre types d'effluents pour les bovins (périmètre Kyoto)

Pour les autres animaux, 3 systèmes de gestion des déjections sont distingués :

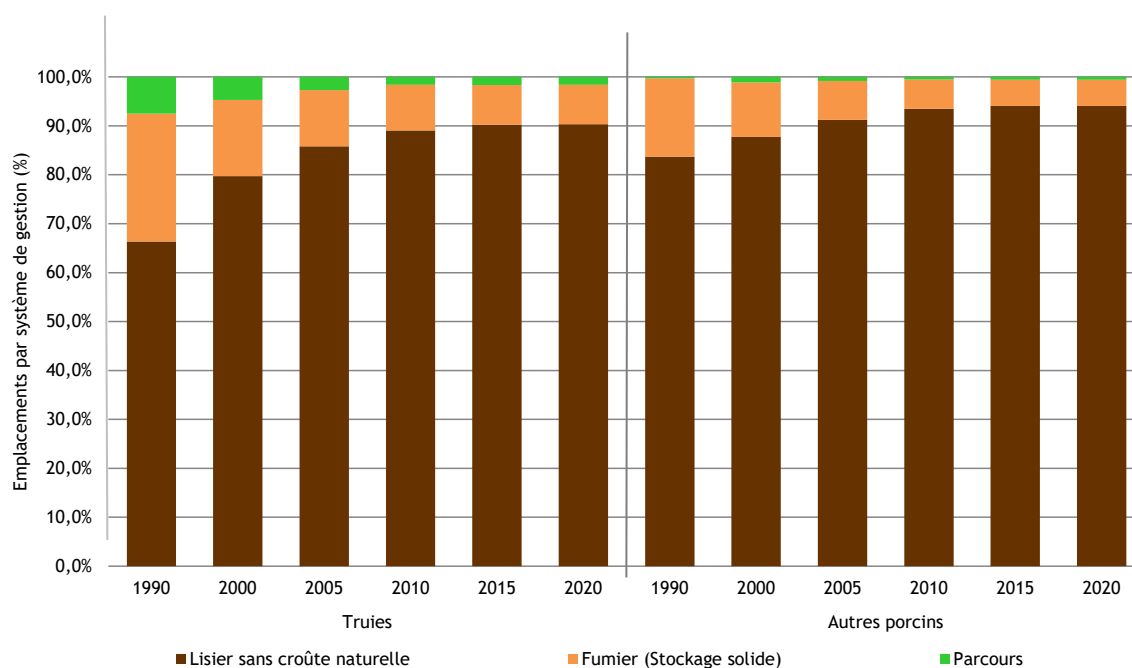
- Lisier sans croûte naturelle ;
- Fumier (stockage solide) ;
- Pâture/parcours.

Ne disposant pas de données spécifiques aux DOM COM, les données de la métropole sont utilisées, à l'exception des cervidés d'élevage (uniquement en Nouvelle-Calédonie, considérés 100% à la pâture).

Tableau 86 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre Kyoto)

		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	90,2%	8,1%	1,7%
	2020	90,4%	8,0%	1,6%
Autres porcins	1990	83,7%	16,0%	0,3%
	2000	87,7%	11,2%	1,1%
	2005	91,2%	7,9%	0,8%
	2010	93,5%	6,0%	0,5%
	2015	94,1%	5,4%	0,5%
	2020	94,1%	5,4%	0,5%

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020



Source Citepa / format Ominea - février 2022

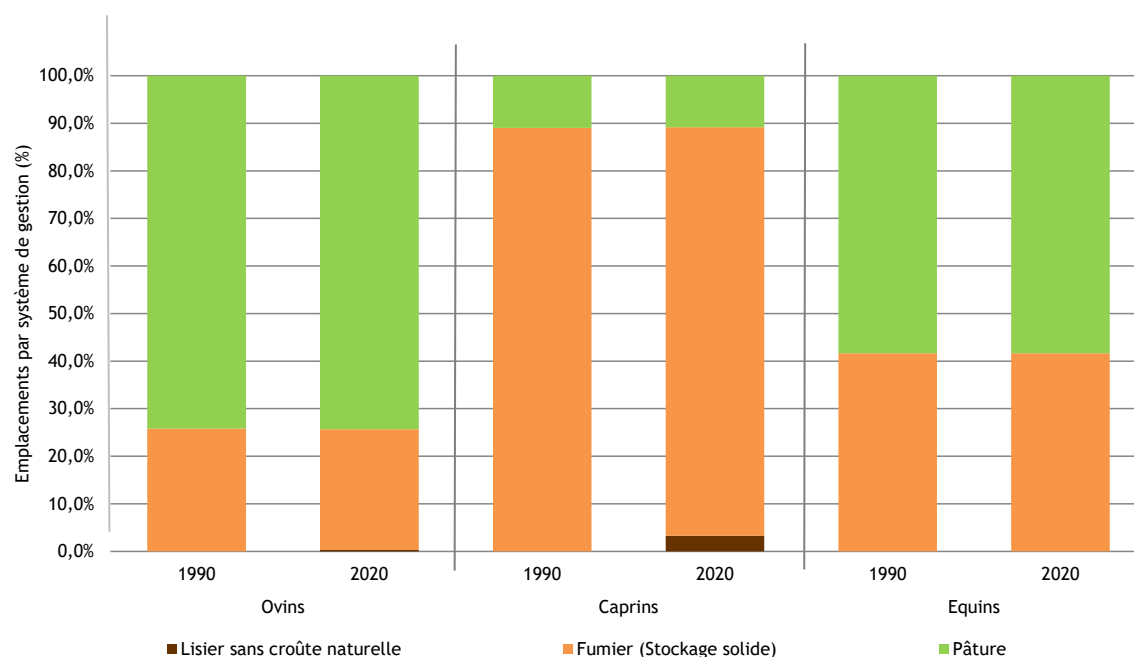
Graph_OMINEA_3.xls/SGDA

Figure 122 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre Kyoto)

Tableau 87 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre Kyoto)

		Lisier sans croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Pâturage
Ovins	1990	0,0%	25,8%	74,2%
	2020	0,3%	25,4%	74,3%
Caprins	1990	0,0%	89,0%	11,0%
	2020	3,3%	85,9%	10,8%
Équins	1990	0,0%	41,7%	58,3%
	2020	0,0%	41,7%	58,3%

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020



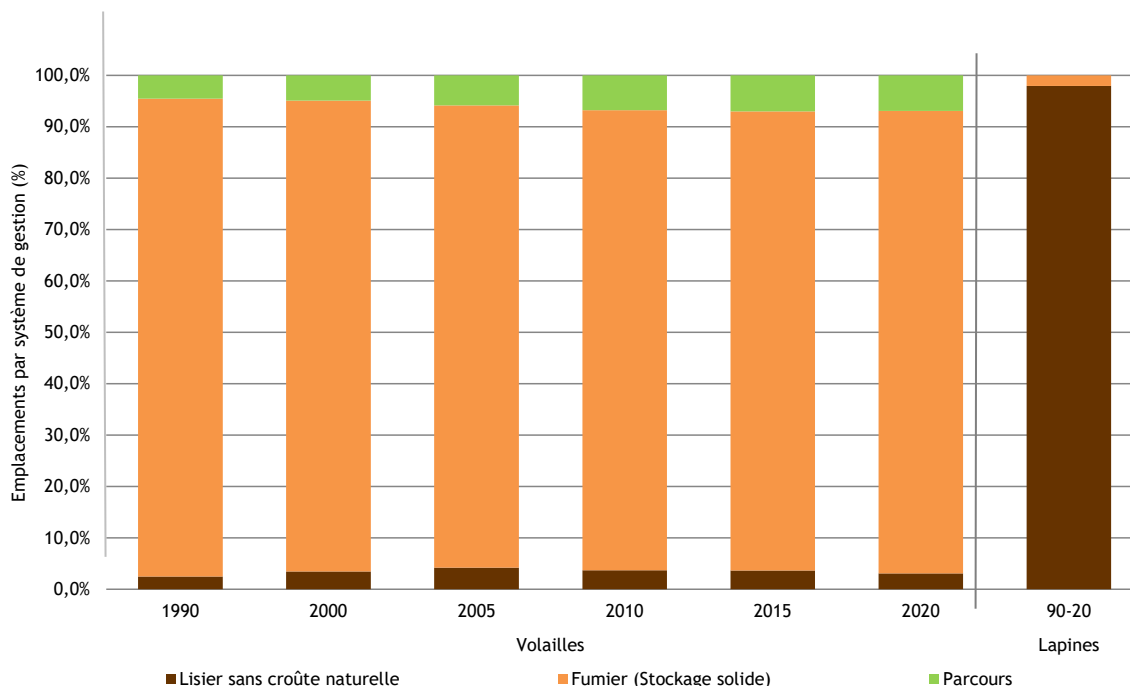
Source Citepa / format Ominea - février 2022

Graph_OMINEA_3.xls/SGDA

Figure 123 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre Kyoto)

Tableau 88 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre Kyoto)

		Lisier sans croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Parcours
Volailles	1990	2,5%	93,0%	4,5%
	2000	3,4%	91,7%	4,9%
	2005	4,2%	90,0%	5,8%
	2010	3,7%	89,6%	6,8%
	2015	3,7%	89,4%	7,0%
	2020	3,1%	90,0%	6,9%
Lapines	90-20	98,0%	2,0%	0,0%



Source Citepa / format Ominea - février 2022

Graph_OMINEA_3.xls/SGDA

Figure 124 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre Kyoto)

Systèmes de gestion des déjections animales - Méthanisation

Pour les bovins et les porcins, un autre système de gestion des déjections vient se combiner aux précédents : la méthanisation des effluents d'élevage dans un digesteur. La prise en compte de ce système impacte l'ensemble des émissions liées à la gestion des déjections.

Pour les bovins et les porcins, chaque système au bâtiment décrit précédemment est sous-divisé de manière à distinguer les effluents suivant la chaîne « classique » (bâtiment, stockage, épandage), des effluents partant en méthanisation (bâtiment, méthanisation, épandage). Par exemple, on distingue le lisier sans croûte naturelle « classique » du lisier sans croûte naturelle « à vocation méthanisation ».

Pour estimer le nombre d'emplacements concernés par la méthanisation, plusieurs données sont utilisées et plusieurs pré-traitements sont effectués :

- La base SINOE de l'ADEME [798] fournit le nombre de méthaniseurs annuels en activité en France métropolitaine. Des données des constructeurs ou d'observatoires régionaux de la méthanisation permettent de préciser les quantités d'effluents entrant dans le méthaniseur. Deux types de méthanisation sont pris en compte : méthanisation centralisée et méthanisation à la ferme. En 2020, on dénombre 831 méthaniseurs dont 792 méthaniseurs traitant des effluents d'élevage.

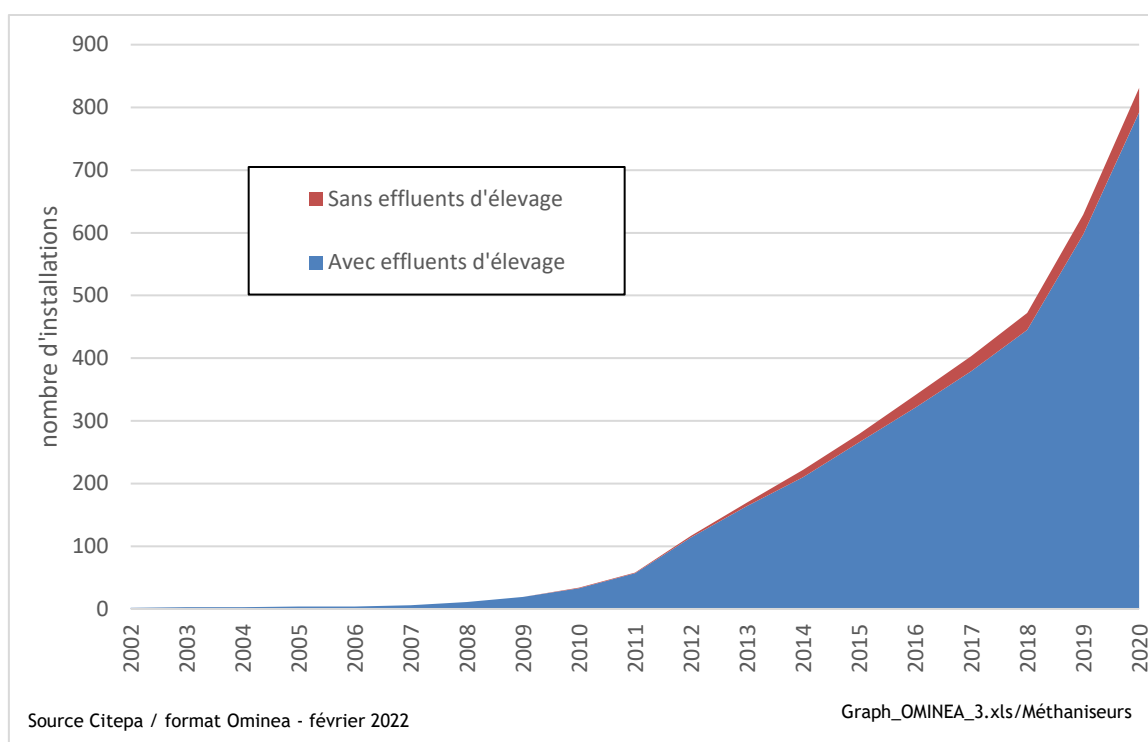


Figure 125 : Evolution du nombre de sites de méthanisation en France

- Par ailleurs, de multiples données provenant des constructeurs et d'observatoires régionaux ont permis de définir la répartition des types de déjections traitées, exprimée en pourcentages entre lisier bovin, lisier porcin, fumier bovin et fumier porcin, pour un méthaniseur « moyen », représentatif de la situation française.
- L'ADEME a pu fournir, pour 2013 seulement, les tonnages de déjections méthanisées, centralisée ou à la ferme, permettant de calculer le tonnage moyen traité par méthaniseur.

Tableau 89 : Données ADEME sur la méthanisation (2013)

	Nombre d'installations ayant reçu des aides ADEME		Tonnage d'effluent traité (tonne/an) sur les installations ayant reçu des aides ADEME	
	Centralisée	A la ferme	Centralisée	A la ferme
2013	18	74	305 363	425 589

La part d'effluent d'élevage composant la ration entrante varie en fonction des régions, du type de méthanisation et des ressources disponibles. Deux traitements distincts vont être effectués en fonction des données disponibles :

- Lorsque qu'elles existent, sont privilégiées les sources régionales qui fournissent des quantités d'effluents d'élevage spécifiques à partir d'enquêtes régionales sur les installations de méthanisation (Observatoires Régionaux de la Biomasse, de l'Energie...) ;
- Pour une région donnée, si les rations entrantes dans les méthaniseurs ne sont pas connues, elles vont être estimées à l'aide du tonnage moyen traité par méthaniseur fourni par l'ADEME en 2013.

Tableau 90 : Sources de données régionales mobilisées et année de l'état des lieux des unités de méthanisation

Région	Nom de l'Observatoire	Année de l'état des lieux	Quantités d'effluents méthanisés disponibles	Référence
Auvergne	AURA-EE (AURA Energie Environnement)	2017	Oui	[1157]
Rhône-Alpes	AURA-EE (AURA Energie Environnement)	2017	Oui	[1157]
Bourgogne	ADEME Bourgogne-Franche-Comté	2018	Oui	[1158]
Franche-Comté	ADEME Bourgogne-Franche-Comté	2018	Oui	[1158]
Bretagne	Association AILE & OEB (Observatoire Environnement Bretagne)	2019	Oui	[1159] [1160]
Centre-Val de Loire	ADEME Centre Val de Loire	2019	Non	[1161]
Alsace	Chambre d'agriculture Grand Est	2018	Oui	[1162]
Champagne-Ardenne	Chambre d'agriculture Grand Est	2018	Oui	[1162]
Lorraine	Chambre d'agriculture Grand Est	2018	Oui	[1162]
Nord-Pas-de-Calais	Chambre d'agriculture Hauts de France	2020	Non	[1163]
Picardie	Chambre d'agriculture Hauts de France	2020	Non	[1163]
Ile-de-France	Institut d'aménagement et d'urbanisme - Ile-de-France	2018	Non	[1164]
Basse-Normandie	Chambre d'agriculture Normandie	2020	Oui	[1165]
Haute-Normandie	Chambre d'agriculture Normandie	2020	Oui	[1165]
Languedoc-Roussillon	ADEME Occitanie	2017	Non	[1166]
Midi-Pyrénées	ADEME Occitanie	2017	Non	[1166]
PACA	Collectif Métha'Synergie	2020	Non	[1167]
Pays de la Loire	Association Aile	2019	Oui	[1159]
Aquitaine	AREC (Agence Régionale d'Évaluation Environnement & Climat)	2018	Oui	[1168]
Limousin	AREC (Agence Régionale d'Évaluation Environnement & Climat)	2018	Oui	[1168]
Poitou-Charentes	AREC (Agence Régionale d'Évaluation Environnement & Climat)	2018	Oui	[1168]

L'objectif est de pouvoir estimer, à partir de l'ensemble des données liées aux méthaniseurs, des **emplacements animaux concernés par la méthanisation**, par ancienne région.

Pour la méthanisation centralisée, pour la méthanisation à la ferme, et pour chaque espèce, on caractérise le type d'effluent traité et les quantités méthanisées au sein de chaque site grâce aux données externes des constructeurs. Ces données sont corrigées à l'aide du **tonnage moyen traité par méthaniseur** (moyenne nationale ou régionale selon les cas). Cette correction est effectuée uniquement sur les méthaniseurs qui ont effectivement des effluents d'élevage dans leur ration. Les méthaniseurs ne traitant que des matières végétales ne sont pas pris en compte dans le recensement pour l'extrapolation des données de places méthanisées. Ainsi, en appliquant la répartition moyenne des déjections traitées, il est possible d'obtenir un tonnage moyen de déjections traitées par catégorie animale et système de gestion des déjections pour un méthaniseur « moyen ».

Cas 1 : le tonnage total d'effluent méthanisé pour la région *i* n'est pas connu, mais le nombre de méthaniseurs de la région est connu chaque année

$$\text{Tonnages_moyens_année } i_r\acute{e}gion_i = \text{tonnages_ADEME_2013} * (\text{nb méthaniseurs année } i_r\acute{e}gion_i / \text{nb méthaniseurs ADEME_2013})$$

Avec : tonnages_ADEME_2013 : tonnes d'effluents moyen traités par méthaniseur fourni par l'ADEME en 2013 ; nb méthaniseurs année i_région i : nombre de méthaniseurs recensés pour la région i l'année i ; nb méthaniseurs ADEME_2013 : nombre de méthaniseurs recensés par l'ADEME en 2013 au niveau national

Cas 2 : le tonnage total d'effluent méthanisé pour la région i est connu
$$\text{Tonnages_moyens_année } i_r\grave{e}gion_i = \text{tonnages_r\acute{e}gion_ann\acute{e}e enqu\acute{e}t\acute{e}e * (nb \text{ m\acute{e}thaniseurs ann\acute{e}e } i_r\grave{e}gion_i / nb \text{ m\acute{e}thaniseurs r\acute{e}gion } i_ann\acute{e}e \text{ enqu\acute{e}t\acute{e}e})$$

Avec : tonnages_région_année enquêtée : tonnes d'effluents traités par tous les méthaniseurs de la région pour l'année où la donnée disponible ; nb méthaniseurs année i_région i : nombre de méthaniseurs recensés pour la région i l'année i ; nb méthaniseurs région i_année enquêtée : nombre de méthaniseurs recensés pour la région i l'année de l'enquête

Un exemple des résultats obtenus sur les tonnages d'effluents méthanisés (fumier et lisier confondu) par région en 2019 est présenté dans la figure suivante :

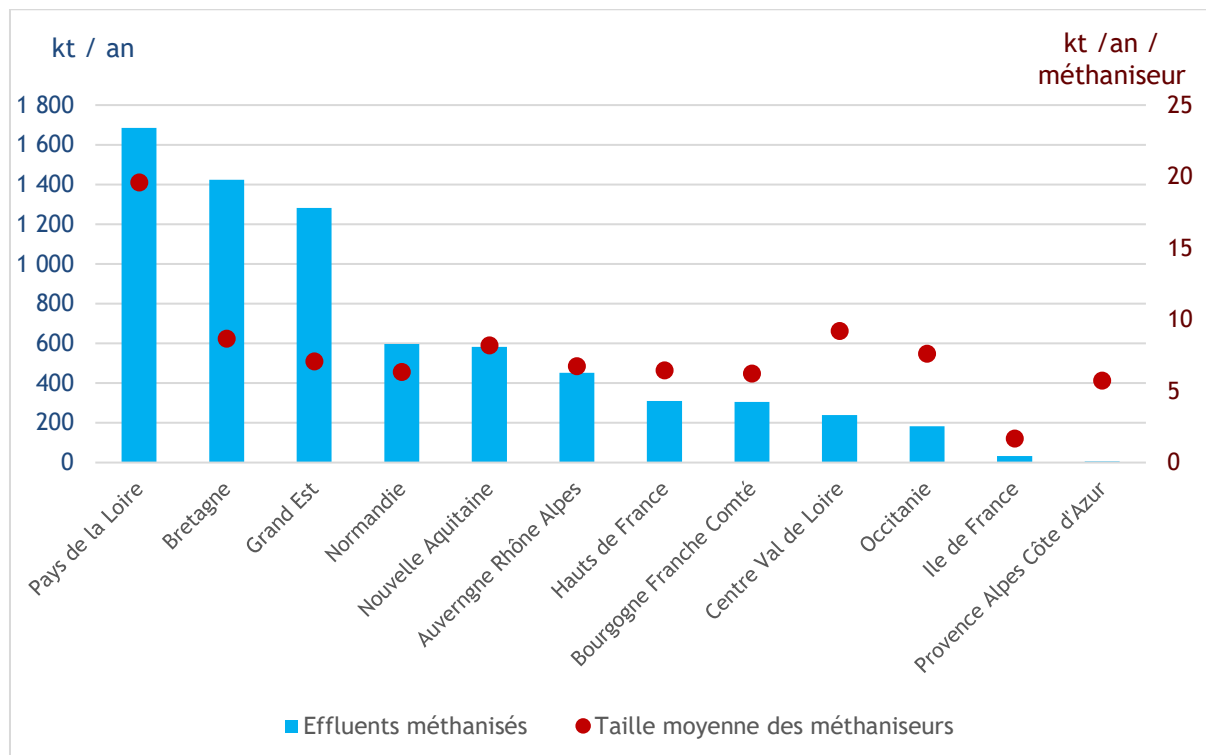


Figure 126 : Quantité d'effluents méthanisés et taille moyenne des méthaniseurs par région en 2020 - après extrapolation (tonnes)

Le cheptel initial au sein d'un site est une donnée parfois fournie par les constructeurs des sites de méthanisation. Quand ces données ne sont pas disponibles, le cheptel est déduit par calcul à partir des volumes d'effluents méthanisés : pour les bovins, on utilise un ratio de l'IDELE qui permet d'estimer le nombre d'animaux d'une exploitation en fonction du volume de lisier ou de fumier du bâtiment. De même, on utilise des références de l'IFIP sur la composition des lisiers et fumiers porcins afin d'estimer le cheptel initial au sein d'un site.

Ainsi nous obtenons une base « échantillon » de méthaniseurs pour lesquels nous avons plusieurs informations (effluents méthanisés, cheptel...) que nous extrapolons en utilisant les données régionales pour reconstruire un cheptel dont les effluents sont méthanisés ($Cheptels\ méthanisés_{s,e,r,t,i}$).

Les données fournies par les constructeurs des sites permettent également de distinguer les effluents entre lisier et fumier. On calcule alors le nombre d'emplacements concernés par la méthanisation en distinguant le lisier du fumier.

Estimation du cheptel concerné par la méthanisation pour une espèce s , un effluent e (lisier / fumier), une région r , un type de méthaniseur t (centralisé, à la ferme) et une année i sur la base de l'échantillon de départ:

$$\text{Cheptel échantillon}_{s,e,r,t,i} (\text{têtes}) = \frac{\text{Effluents échantillon}_{s,e,r,t,i} (\text{tonnes})}{\text{Effluents moyens par animal}_s (\text{tonnes/tête})}$$

$$\begin{aligned} &\text{Cheptels méthanisés}_{s,e,r,t,i} (\text{têtes}) = \\ &\text{Cheptel échantillon}_{s,e,r,t,i} (\text{têtes}) * \frac{\text{Effluents méthanisés totaux}_{r,t,i} (\text{tonnes})}{\sum_{s,e} \text{Effluents échantillon}_{s,e,r,t,i} (\text{tonnes})} \end{aligned}$$

On obtient ainsi un nombre de « places méthanisées » lisier d'une part, et fumier d'autre part, par ancienne région, pour les catégories suivantes : vaches laitières, autres bovins, truies, autres porcins.

Pour les bovins, les premières places méthanisées sont comptabilisées à partir de 2005. Pour les porcins, les premières places méthanisées sont comptabilisées dès 1990, mais le pourcentage reste très faible avant les années 2000.

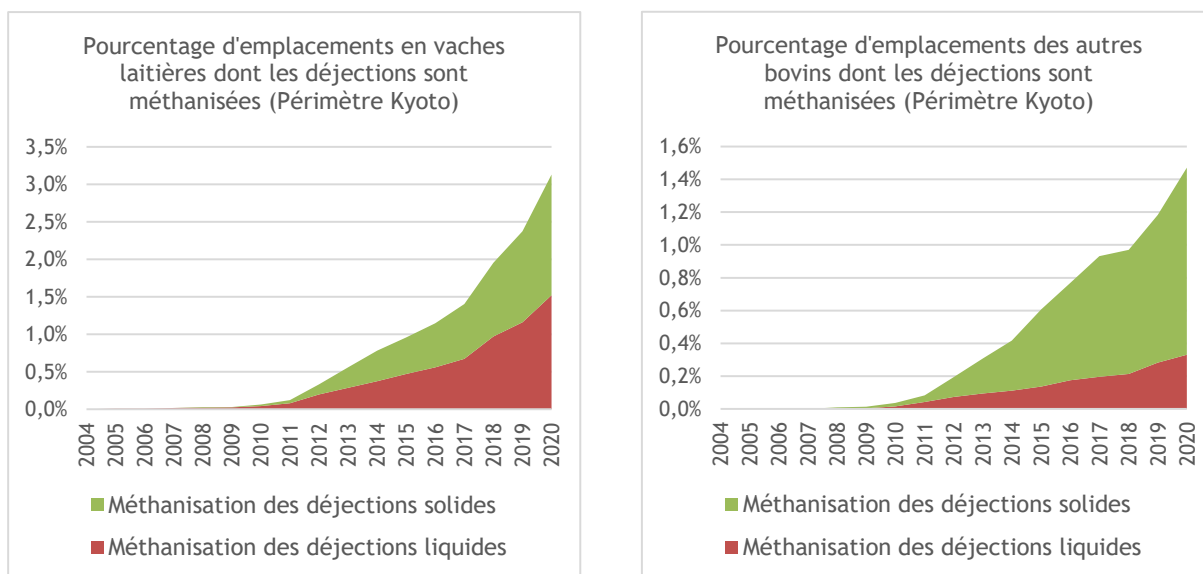


Figure 127 : Evolution des places méthanisées en bovins

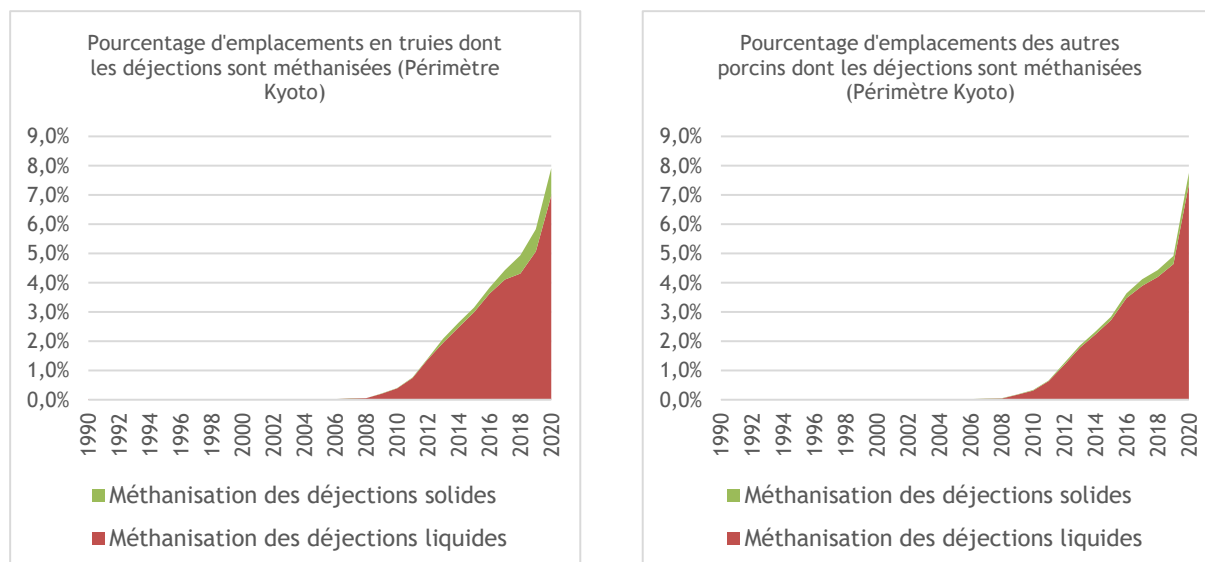


Figure 128 : Evolution des places méthanisées en porcins

Pour les bovins, on répartit ensuite les places lisier méthanisées entre les systèmes lisier avec croûte (noté ci-après LAC) et lisier 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 donnée :

$$\text{Nombre_places_LAC_méthanisées_2018} = \text{Nombre_places_lisier_méthanisées_2018} \times \frac{\text{Nombre_places_LAC_2018}}{(\text{Nombre_places_LAC_2018} + \text{Nombre_places_LSC_2018})}$$

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.

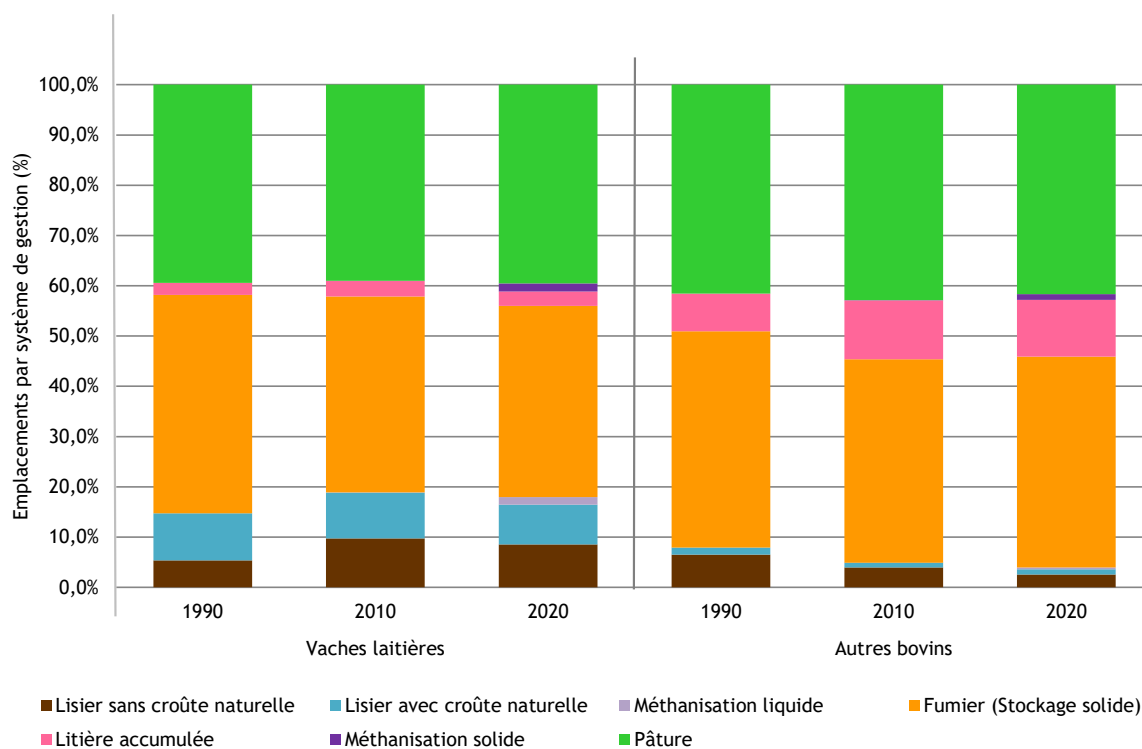
On répartit également les places fumier entre les systèmes stockage solide et litière accumulée, au prorata des places pour chacun des systèmes l'année en question, par ancienne région. Comme pour les systèmes liquides, on se retrouve alors avec 4 types d'effluents solides pour les bovins : stockage 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 91 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre Kyoto)

		Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Litière accumulée	Pâturage	Méthanisation liquide	Méthanisation solide
Vaches laitières	1990	5,4%	9,4%	43,5%	2,4%	39,4%	0,0%	0,0%
	2010	9,7%	9,1%	39,0%	3,1%	39,0%	0,0%	0,0%
	2020	8,5%	7,9%	38,0%	2,9%	39,5%	1,5%	1,6%
Autres bovins	1990	6,5%	1,4%	43,1%	7,5%	41,5%	0,0%	0,0%
	2010	4,0%	0,9%	40,5%	11,7%	42,9%	0,0%	0,0%
	2020	2,6%	1,0%	42,0%	11,3%	41,7%	0,3%	1,1%

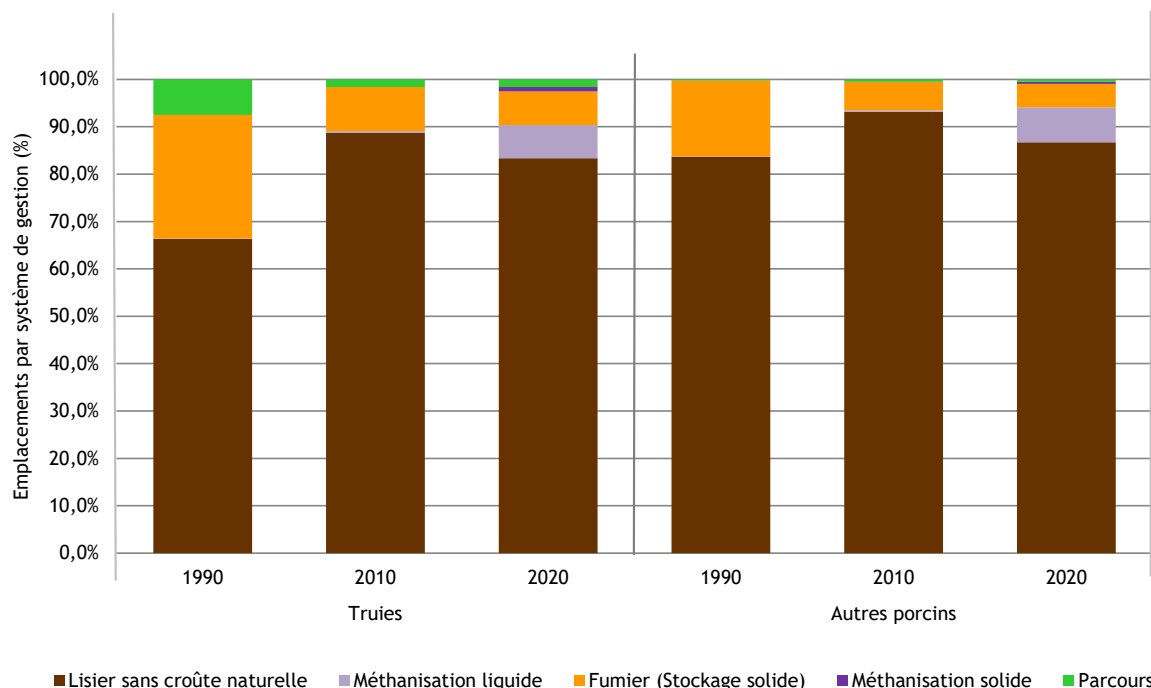


Source Citepa / format Ominea - février 2022

Graph_OMINEA_3.xls/SGDA

Figure 129 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre Kyoto)**Tableau 92 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre Kyoto)**

		Lisier sans croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Parcours	Méthanisation liquide	Méthanisation solide
Truies	1990	66,3%	26,1%	7,5%	0,0%	0,0%
	2010	88,7%	9,3%	1,6%	0,4%	0,0%
	2020	83,4%	7,1%	1,6%	7,0%	0,9%
Autres porcins	1990	83,7%	16,0%	0,3%	0,0%	0,0%
	2010	93,2%	6,0%	0,5%	0,3%	0,0%
	2020	86,7%	5,0%	0,5%	7,4%	0,4%



Source Citepa/ format Ominea - février 2022

Graph_OMINEA_3.xls/SGDA

Figure 130 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre Kyoto)

Excrétions azotées

Les facteurs d'excrétion azotée (F_{ex}) 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 « 3B_Manure Management ».

Pour les bovins

Les facteurs d'excrétion azotée (F_{ex}) 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 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 de la production laitière, qui est un paramètre intervenant directement dans le calcul de l'excrétion azotée.

Enfin, lorsque les animaux sont agrégés par catégorie CRF/NFR, des variations du facteur d'excrétion sont constatées du fait des évolutions d'effectifs entre catégories fines au sein d'une même catégorie agrégée.

Pour les porcs

Les facteurs d'excrétion azotée (F_{ex}) 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.
- 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 F_{ex} définis sur la période, deux approches distinctes sont appliquées :

- l'approche « cheptel » pour les truies et verrats : les F_{ex} sont directement appliqués aux données de population,
- l'approche « production » pour les autres catégories.

L'approche « production » est préférée pour les porcins, hors truies et verrats, car elle permet d'éviter de formuler des hypothèses sur le nombre de rotations par catégorie durant l'année, ce qui est jugé plus fiable. Les données de production proviennent des statistiques AGRESTE [410]. Ces statistiques présentent les productions totales pour la métropole et les DOM (correspondant au périmètre Kyoto), en séparant les catégories suivantes : cochons 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 saisis 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. 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 saisis 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 excréments totales calculées au périmètre Kyoto 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 F_{ex} post-sevrage par rapport à la somme des F_{ex} post-sevrage et engraissement. Cette excrétion totale est ensuite divisée par la population correspondante.

- L'excrétion azotée des porcs à l'engrais (>30kg) est estimée en comptabilisant la partie restante de l'excrétion des porcs charcutiers. Cette excrétion totale est ensuite divisée par la population correspondante.

Pour les volailles

Les facteurs d'excrétion azotée (F_{ex}) ont été calculés à partir des documents Corpen [471], [503], [504]. Ces guides fournissent des valeurs d'excrétions pour respectivement 40, 78 et 80 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. 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 considérées constantes entre 1996 et 2012. Les catégories de volailles et les périmètres d'étude ayant varié entre les versions, certaines données aberrantes ont été corrigées par une interpolation entre les deux valeurs de 1996 et 2012. 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 ;
- de 2012 à l'année en cours : les données utilisées sont celles de 2012.

Pour les ovins

Les facteurs d'excrétion azotée (F_{ex}) 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 Lacau), 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 Lacau (système ovin lait). Une seule donnée est fournie pour cette catégorie.

Agneau engraisé (après sevrage). Trois systèmes de production d'agneaux engraisés 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) » 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. 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 :

$$N_{\text{consommation}} \text{ (kgN/animal/jour)} = EB / 18,45 \times (PB\% / 100 / 6,25)$$

Avec : EB = Energie brute ingérée (MJ/animal/jour) ; PB% : teneur en protéines brutes dans la ration.

L'**énergie brute ingérée** pour les béliers est tirée du projet MONDFERENT II mené par l'Inra et décrit en section « 3A_Enteric fermentation ». 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 $N_{\text{consommation}}$ (kgN/animal/jour) est ensuite multiplié par 365 pour obtenir les quantités annuelles d'azote consommées ($N_{\text{conso_annuelle}}$). Enfin, l'équation 10.31 du Giec 2006 [656] est appliquée pour estimer la quantité d'azote excrétée sur l'année par l'animal :

$$N_{\text{ex}} \text{ (kgN/animal/an)} = N_{\text{conso_annuelle}} \times (1 - N_{\text{retention}})$$

Avec : $N_{\text{conso_annuelle}}$ = Quantité d'azote consommée par an (kgN/animal/an) ; $N_{\text{retention}}$ = 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).

Le F_{ex} 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, au prorata des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007.

A noter : les F_{ex} rapportés pour la catégorie « ovins » varient au cours du temps en fonction des effectifs de chacune des sous-catégories pour l'année considérée.

Pour les caprins

Les facteurs d'excrétion azotée (F_{ex}) 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 engraisés. 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 :

$$N_{\text{consommation}} (\text{kgN/animal/jour}) = EB / 18,45 \times (PB\% / 100 / 6,25)$$

Avec : EB = Energie brute ingérée (MJ/animal/jour) ; PB% : teneur en protéines brutes dans la ration.

L'**énergie brute ingérée** pour les boucs est tirée du projet MONDFERENT II mené par l'Inra et décrit en section « 3A_Enteric fermentation ». 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 $N_{\text{consommation}}$ (kgN/animal/jour) est ensuite multiplié par 365 pour obtenir les quantités annuelles d'azote consommées ($N_{\text{conso_annuelle}}$). Enfin, l'équation 10.31 du Giec 2006 [656] est appliquée pour estimer la quantité d'azote excrétée sur l'année par l'animal :

$$N_{\text{ex}} (\text{kgN/animal/an}) = N_{\text{conso_annuelle}} \times (1 - N_{\text{retention}})$$

Avec : $N_{\text{conso_annuelle}}$ = Quantité d'azote consommée par an (kgN/animal/an) ; $N_{\text{retention}}$ = 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).

Le F_{ex} retenu pour la catégorie « **autres caprins (y compris boucs)** » est calculé en pondérant la valeur pour les chevreaux engraisés, mentionnée plus haut, et celle des boucs, calculée à partir des équations du Giec, au prorata des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007.

A noter : les F_{ex} rapportés pour la catégorie « caprins » varient au cours du temps en fonction des effectifs de chacune des sous-catégories pour l'année considérée.

Pour les équins

Les facteurs d'excrétion azotée (F_{ex}) 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 (200kg),
- Sports et loisirs - poney CD (200kg),
- 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 F_{ex} 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 [1985]. Seuls les annuaires pour les années 2012 et 2016 ont pu être utilisés. Ils présentent les données d'effectifs équin 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 » :
 - o Jument : utilisation de la valeur IDELE « Sports et loisirs - Jument suivée » ;
 - o Etalon : utilisation de la valeur IDELE « Sports et loisirs - Cheval au travail » ;
 - o Naissance : pondération de la valeur IDELE « Sports et loisirs - Cheval au travail » pour ne prendre en compte que 5 mois d'excrétion (hypothèse Citepa) ;
 - o 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 suivée » ;
- 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 [1984].

Pour les lapines reproductrices

Les facteurs d'excrétion azotés (F_{ex}) sont issus des travaux de Aubert et Coutelet [655] et correspondent aux lapines et à leurs suites.

Pour les cervidés d'élevage

Faute de données spécifiques pour les cervidés d'élevage, la valeur définie pour les ovins leur est attribuée.

Le tableau suivant récapitule les différentes sources des F_{ex} par catégorie animale de la SAA :

Tableau 93 : Récapitulatif des sources utilisées pour le calcul des facteurs d'excrétion azotée

Catégorie SAA	Descriptif rapide
Vaches laitières	CORPEN 1999 + Données CIV 2012 (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 laitières 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 laitières 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'alimentation biphasé (enquêtes)
Truies de 50 kg et plus	RMT + Evolution de l'alimentation biphasé (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'alimentation biphasé (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
Poules pondeuses d'œufs de consommation	CORPEN 1996 - 2006 - 2012
Poulettes	CORPEN 1996 - 2006 - 2012
Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	CORPEN 1996 - 2006 - 2012
Canards à gaver	CORPEN 1996 - 2006 - 2012
Canards à rôtir	CORPEN 1996 - 2006 - 2012
Dindes et dindons (au 1er octobre)	CORPEN 1996 - 2006 - 2012
Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	CORPEN 1996 - 2006 - 2012
Pintades	CORPEN 1996 - 2006 - 2012
Cailles d'élevage	CORPEN 1996 - 2006 - 2012
Lapines reproductrices	Aubert et Coutelet

Les F_{ex} suivants sont obtenus pour la métropole, par catégorie animale détaillée :

Tableau 94 : Evolution des F_{ex} en métropole par catégorie animale détaillée

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Vaches laitières	102,4	105,6	106,6	109,0	111,5	114,8	116,7
Vaches nourrices	107,3	107,4	107,9	107,6	107,3	107,3	107,3
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	69,7	69,7	69,8	69,5	69,2	69,2	69,1
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	67,0	67,0	67,3	67,0	66,9	66,9	66,9
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	44,2	44,2	44,4	44,0	43,6	43,6	43,6
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	79,1	79,1	79,1	78,7	78,3	78,4	78,6
Mâles de type viande de plus de 2 ans	77,8	77,9	78,3	77,9	77,7	77,8	77,8
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	53,5	53,5	53,5	53,4	53,3	53,3	53,2
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	51,1	51,1	51,2	51,1	51,1	51,1	51,1
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	43,1	43,1	43,2	43,0	42,9	42,9	42,9
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	57,8	57,8	57,8	57,6	57,6	57,5	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
Veaux de boucherie	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
Autres mâles de moins de 1 an	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
Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	4,0	4,0	3,9	3,8	3,9	4,1	4,1
Truies de 50 kg et plus	24,6	24,6	22,4	21,5	21,0	20,7	20,7
Verrats de 50 kg et plus	24,6	24,6	22,4	21,5	21,0	20,7	20,7
Porcs à l'engrais (>30kg)	14,2	14,6	14,4	13,0	12,8	12,5	12,3
Chevrettes	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
Autres caprins (y compris boucs)	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
Agnelles	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
Brebis mères laitières (y c. réforme)	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	3,9	3,9	3,9
Chevaux de selle, sport, loisirs et course	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1
Chevaux lourds	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8
Anes, mulets, bardots	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2
Poules pondeuses d'œufs à couvrir	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
Poules pondeuses d'œufs de consommation	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Poulettes	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Canards à gaver	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Canards à rôtir	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Dindes et dindons (au 1er octobre)	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Pintades	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Cailles d'élevage	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Lapines reproductrices	8,1	8,1	7,7	7,5	7,3	7,5	7,5

Le tableau suivant présente les F_{ex} par catégorie animale agrégée au périmètre Kyoto :

Tableau 95 : Evolution des Fex au périmètre Kyoto par catégorie animale agrégée

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Vaches laitières	102,4	105,6	106,6	109,0	111,5	114,8	116,7
Autres bovins	57,5	59,3	59,0	59,3	59,8	59,3	59,7
Truies	24,6	24,6	22,4	21,5	21,0	20,7	20,7
Autres porcins	9,2	9,5	9,4	8,7	8,6	8,7	8,6
Caprins	14,6	14,5	14,4	14,4	14,3	14,3	14,3
Ovins	10,7	11,0	11,1	11,0	11,1	11,1	11,1
Chevaux	54,4	53,4	53,0	52,8	52,7	52,7	52,5
Mules et ânes	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2
Poules	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Poulets	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Autres volailles	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Lapines reproductrices	8,1	8,1	7,7	7,5	7,3	7,5	7,5

Rappel : les cervidés d'élevage (Nouvelle-Calédonie uniquement) se voient attribuer le F_{ex} des ovins faute de données spécifiques disponibles.

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.

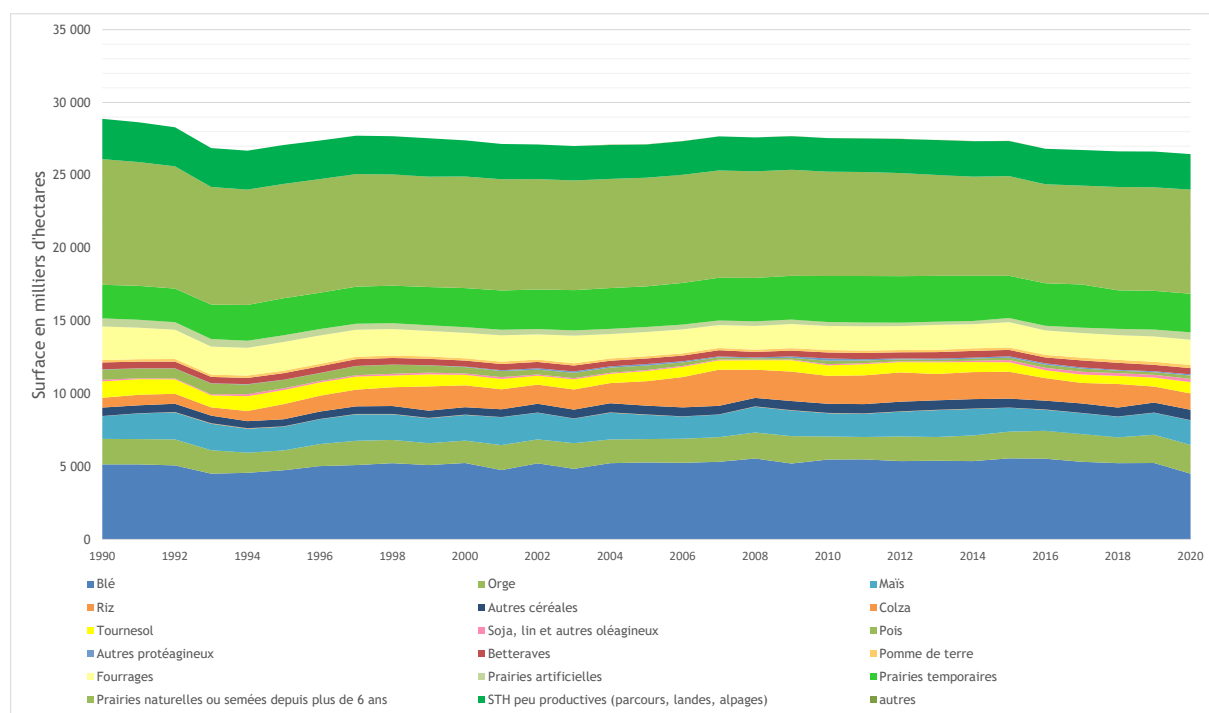


Figure 131 : Évolution des surfaces de culture en France (Métropole uniquement)

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

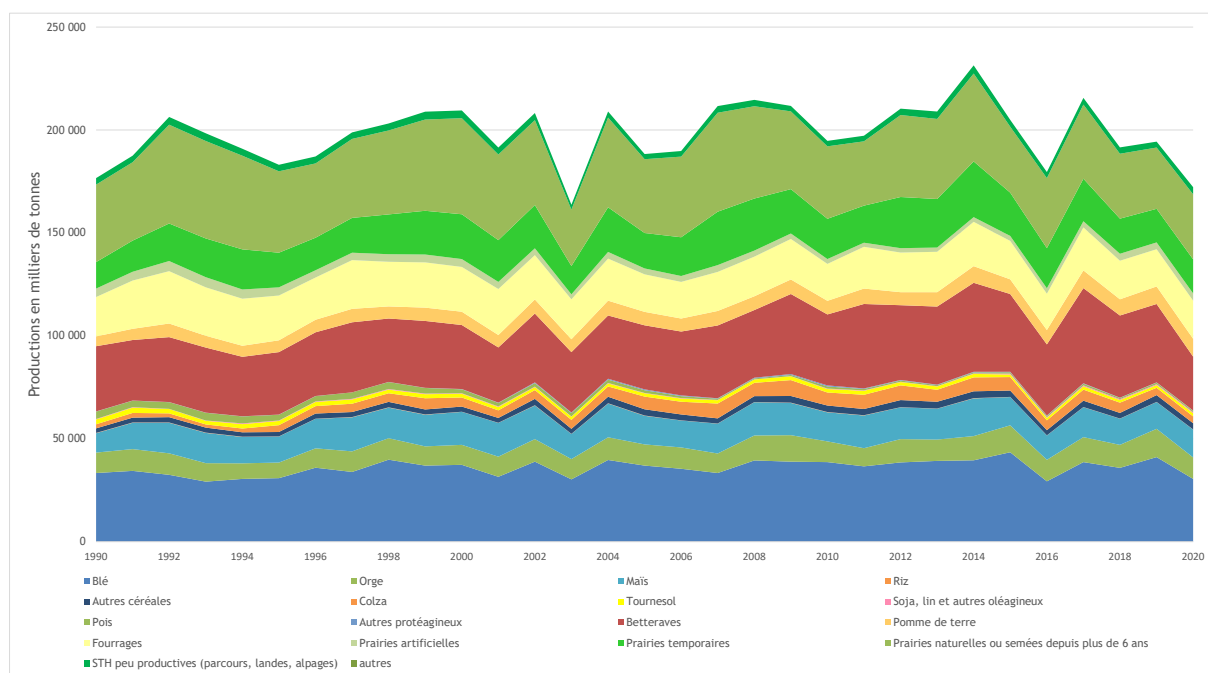


Figure 132 : Évolution des productions en France (Métropole uniquement)

Pour les DOM, le détail des surfaces par culture n'est disponible qu'à partir de l'année 2000. Les données de l'année 2000 sont reportées pour la période 1990-1999.

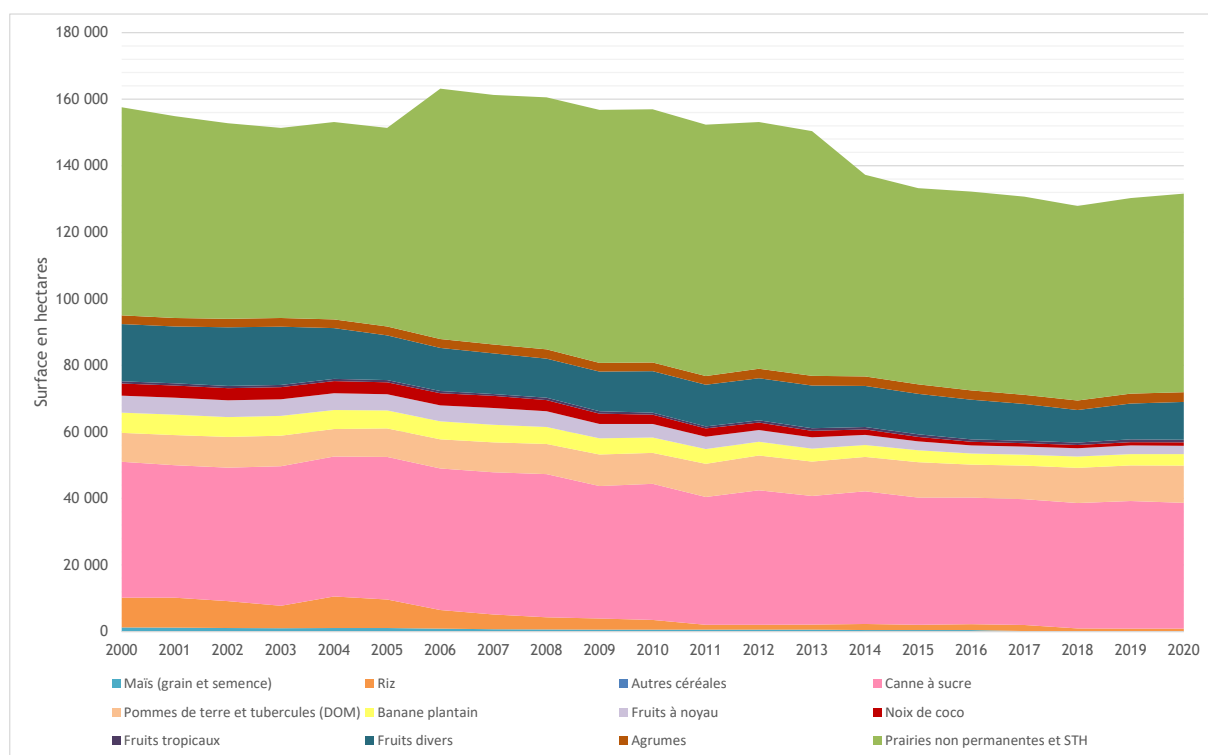


Figure 133 : Évolution des surfaces de culture dans les DOM

Pour les COM, des catégories plus agrégées de surfaces sont estimées à partir de différentes sources [400 ; 401]. Elles sont considérées relativement stables sur la période, faute de données disponibles.

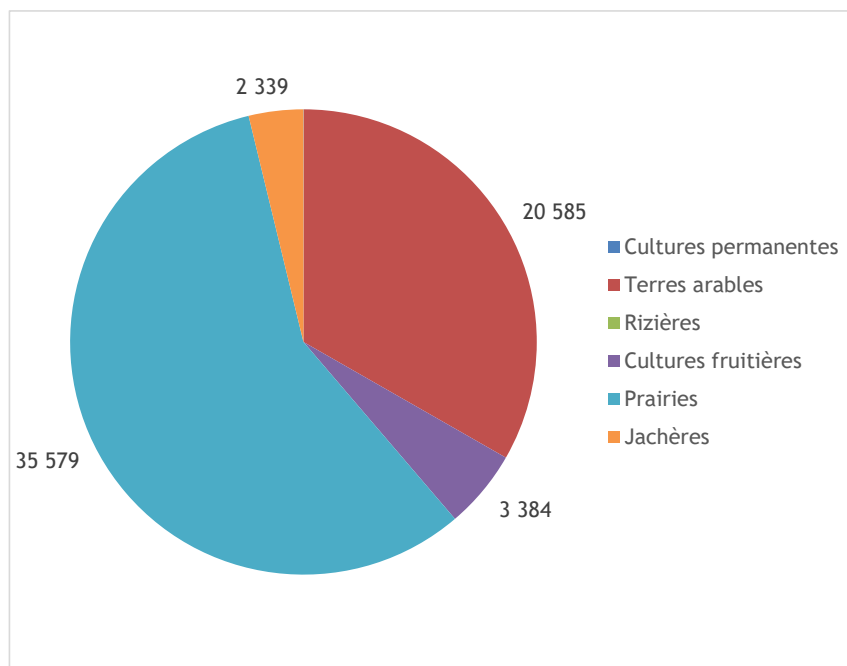


Figure 134 : Répartition des surfaces en hectares dans les COM en 2020

Evolution des surfaces et productions

Les surfaces cultivées restent relativement stables sur la période, avec néanmoins, dans les années 1990, un impact visible de la politique agricole commune (PAC). En 1992, les règles de la PAC ont été modifiées en profondeur pour rapprocher les prix de marché européen de ceux du marché mondial. Ainsi, les prix garantis aux agriculteurs ont été progressivement abandonnés. Pour compenser cette réduction, des aides directes ont été attribuées au producteur, non pas proportionnellement aux quantités produites, mais aux surfaces cultivées. Pour limiter les stocks, ces mesures ont été accompagnées de contraintes de réduction de la production, sous la forme de la mise en jachère obligatoire de 15 % des surfaces en céréales, oléagineux et protéagineux. Le régime d'aides aux cultures a été ensuite réformé à plusieurs reprises et a notamment conduit à la disparition de la quasi-totalité des aides qui avaient été maintenues couplées en France et à l'abandon de cette obligation de geler les terres à partir de 2009. En France, certains paiements couplés demeurent afin de soutenir des productions ou types d'agriculture qui risqueraient d'être abandonnés en cas de découplage total : il s'agit par exemple de versements d'aides pour la production de plantes riches en protéines soumises à des critères d'éligibilité spécifique à chacune des productions.

Les rendements des cultures sont eux assez variables d'une année sur l'autre, ce qui s'explique notamment par les conditions météorologiques, comme en 2003 où la sécheresse estivale a provoqué une baisse importante des rendements, ou encore l'année 2016 qui a vu un effondrement de la récolte de blé principalement du fait d'un manque d'ensoleillement et des pluies du début de l'été. En 2020, la production recule à nouveau. Les principales raisons identifiées sont les précipitations automnales qui ont rendu les conditions de semis en céréales difficiles voire impossibles entraînant un étalement inédit des dates de semis, et la sécheresse record qui a ensuite sévi au printemps.

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 CH₄ 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 2020 (dont environ un tiers pour les vaches laitières) devant celui des ovins et celui des caprins.

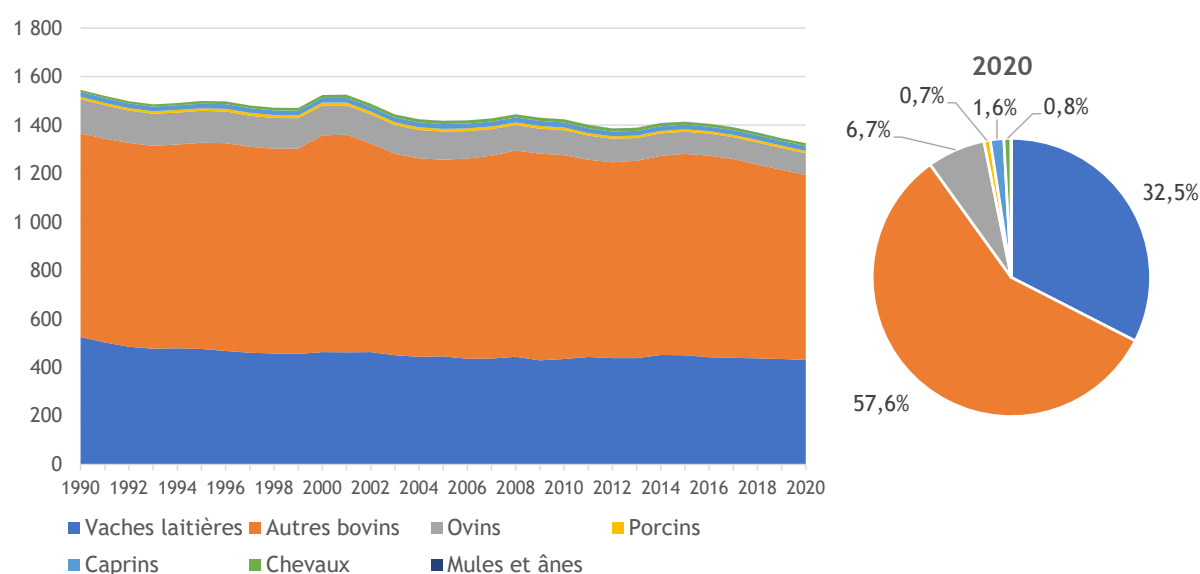


Figure 135 : Evolution et répartition des émissions de CH₄ (kt) de la fermentation entérique par catégorie animale (Périmètre Kyoto)

Les émissions de méthane entérique ne sont pas estimées pour les volailles et les lapines : leur production de CH₄ 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.

Les émissions de la fermentation entérique ont diminué de 14 % sur la période 1990-2020, ces réductions se retrouvant principalement au niveau des cheptels bovins : -18 % pour les émissions des vaches laitières et -9 % 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.

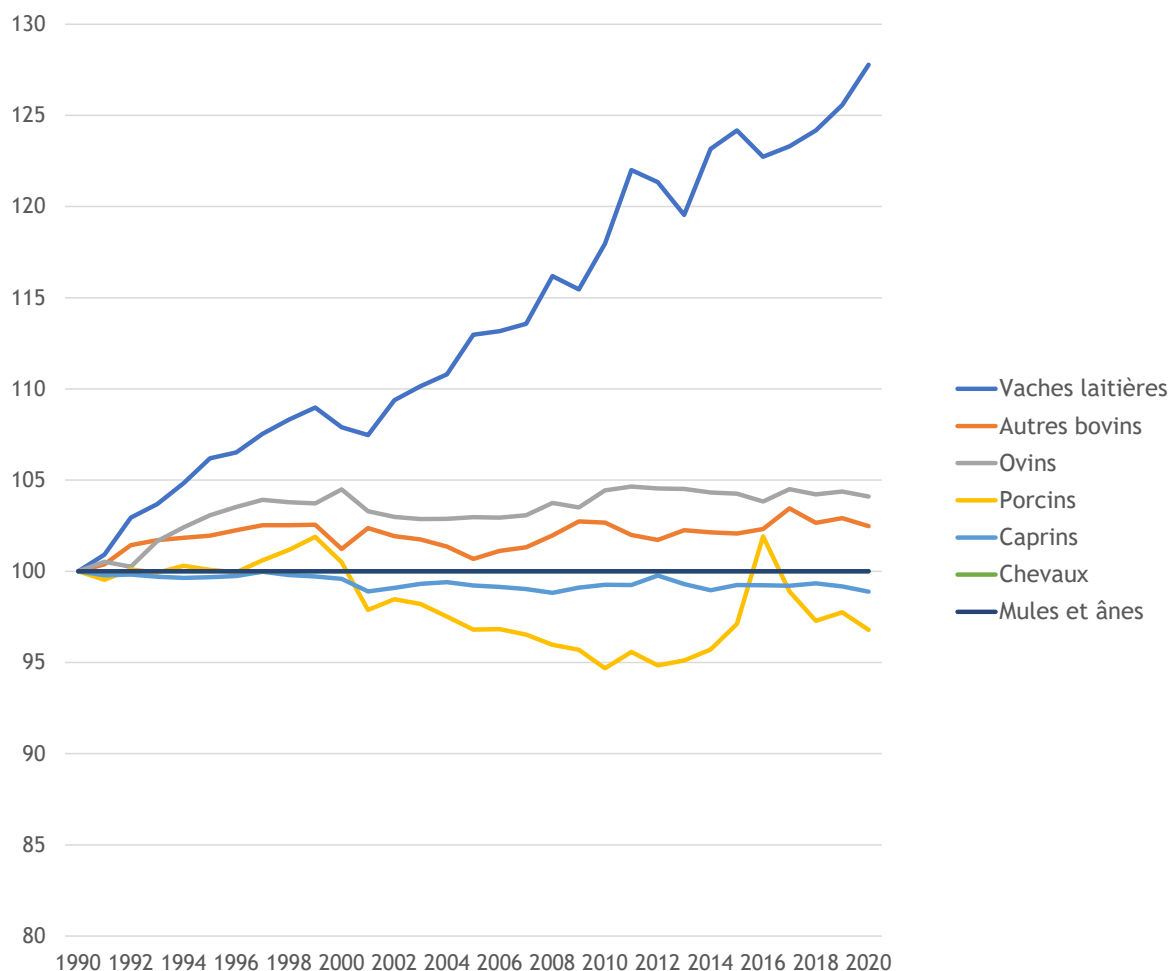


Figure 136 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de CH₄ de la fermentation entérique par tête par an par catégorie animale

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 issues de 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/omine/>.

La méthode appliquée est de rang Giec 2 ou 3, à l'exception des cervidés d'élevage en Nouvelle-Calédonie pour lesquels on applique une méthode de niveau 1. Pour les autres catégories animales, le niveau de méthode appliqué dans l'inventaire français pour la fermentation entérique n'est pas simple à déterminer car il s'agit de facteurs d'émissions nationaux basés sur deux méthodologies légèrement différentes de celle du Giec.

Les émissions liées à la fermentation entérique sont calculées à partir des données de cheptels fournis annuellement de façon détaillée dans les publications des services statistiques du Ministère de l'Agriculture [410] (cf. section générale sur l'agriculture).

La méthodologie nationale de quantification des émissions de la fermentation entérique, s'appuie sur les résultats du projet MONDFERENT I (2012) [508] pour les bovins, MONDFERENT II (2015) [796] pour les caprins, ovins et porcins, et sur Vermorel et al. (2008) [362] pour les autres animaux.

L'article exposant les résultats de MONDFERENT I a été accepté en 2018 et publié en 2019 dans la revue « Journal of Environmental Management » [983]. Pour le projet MONDFERENT II, le calendrier de publication des résultats est toujours à l'étude.

Tableau 96 : Récapitulatif des méthodes d'estimation du CH₄ entérique

	Donnée d'activité	Provenance du FE
Vaches laitières	Cheptel	Mondferent I
Vaches nourrices	Cheptel	Mondferent I
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	Cheptel	Mondferent I
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	Cheptel	Mondferent I
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	Cheptel	Mondferent I
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	Cheptel	Mondferent I
Mâles de type viande de plus de 2 ans	Cheptel	Mondferent I
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	Cheptel	Mondferent I
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	Cheptel	Mondferent I
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	Cheptel	Mondferent I
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	Cheptel	Mondferent I
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	Cheptel	Mondferent I
Veaux de boucherie	Cheptel	Mondferent I
Autres femelles de moins de 1 an	Cheptel	Mondferent I
Autres mâles de moins de 1 an	Cheptel	Mondferent I
Porcelets non sevrés (<8kg)	Production	Mondferent II
Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	Production	Mondferent II
Verrats de 50 kg et plus	Cheptel	Vermorel
Porcs à l'engrais (>30kg)	Production	Mondferent II
Truies de 50 kg et plus	Cheptel	Mondferent II
Chevrettes	Cheptel	Mondferent II
Chèvres (femelles ayant mis bas)	Cheptel	Mondferent II
Autres caprins (y compris boucs)	Cheptel	Mondferent II
Agnelles	Cheptel	Mondferent II
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	Cheptel	Mondferent II
Brebis mères laitières (y c. réforme)	Cheptel	Mondferent II
Autres ovins (y compris béliers)	Cheptel	Mondferent II
Chevaux de selle, sport, loisirs et course	Cheptel	Vermorel
Chevaux lourds	Cheptel	Vermorel
Anes, mulets, bardots	Cheptel	Vermorel
Cervidés d'élevage	Cheptel	Giec 2006

Les émissions de méthane entérique ne sont pas estimées pour les volailles et les lapines : leur production de CH₄ 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.

Projet MONDFERENT I - Bovins

Pour les bovins, les facteurs d'émissions sont tirés de travaux de l'Inrae [508][509]. Plusieurs catégories de vaches laitières et 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. Pour les vaches laitières, le poids varie au cours de la période : ce sont les valeurs 1990 et 2020 qui sont renseignées.

Tableau 97 : Poids vif moyen par catégorie bovine fine

		Poids vif moyen (kg/tête)
Vaches laitières		685 - 676
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 CH₄ entérique par l'équation de Sauvant et al. 2011 [510] à partir de la Matière Organique Digestible Ingérée (MODI) :

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg PV/jour)} = 0,083 + 0,025 \times \text{MODI (g/kg PV/jour)}$$

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 :

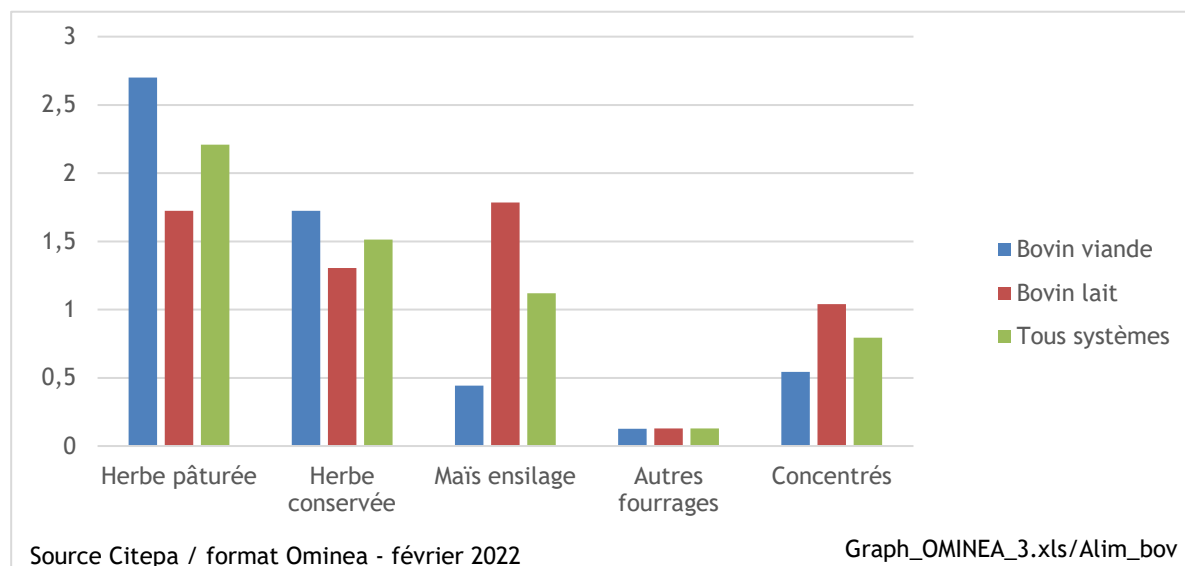


Figure 137 : tMS/UGB/an par grand système (CIV, 2012)

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 98 : 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/MO D
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.

$$MODI_{\text{corrigée}} \text{ (g)} = MODI \text{ (g)} + 1,2 - 0,0226 \times PCO$$

Avec : PCO = Proportion de Concentré dans la ration.

L'EMI est quant à elle estimée à partir de l'Energie Nette Ingérée, divisée par le facteur de conversion « k », associé à la perte d'énergie sous forme de chaleur. Il est considéré constant par type de production.

$$EMI \text{ (kcal)} = ENI \text{ (kcal)} / k$$

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] :

$$EN_{\text{lait}} \text{ (kcal)} = UFL \text{ (kcal)} \times 1\,700$$

$$EN_{\text{viande}} \text{ (kcal)} = UVF \text{ (kcal)} \times 1\,820$$

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 (MONDI_{fèces}), et ne tient pas compte de la MONDI des urines (MONDI_{urines}).

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 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 :

$$SV = SV_{\text{fèces}} + SV_{\text{urine}}, \text{ avec } SV_{\text{fèces}} = \text{MONDI}_{\text{fèces}} \text{ et } SV_{\text{urine}} = 0$$

Le schéma suivant illustre les principes de cette méthode (en vert), ainsi que celle proposée par le Giec (en rouge).

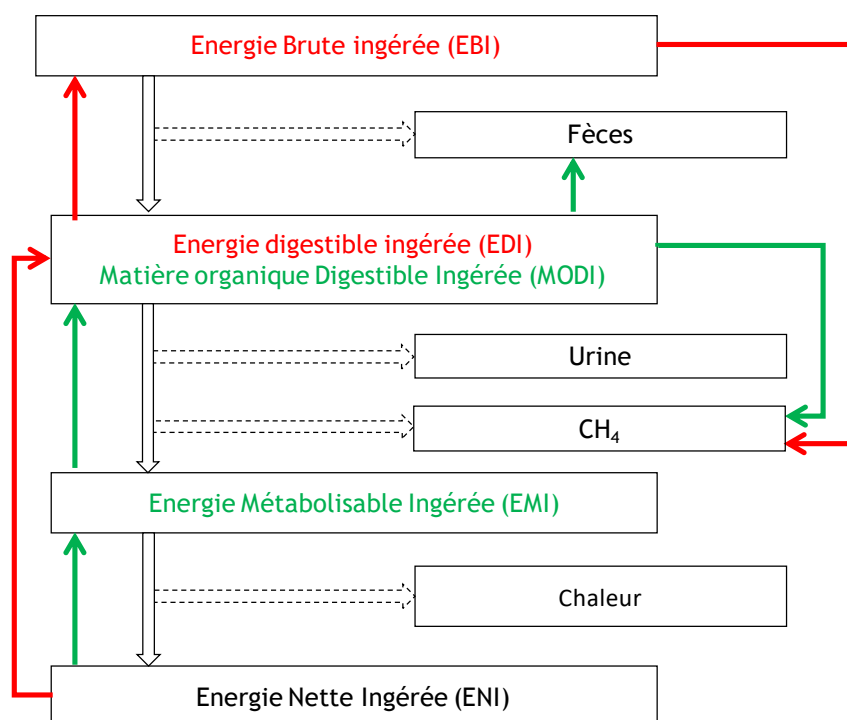


Figure 138 : Schéma comparatif de la méthode de la méthode MONDFERENT I (vert) avec la méthode Giec 2006 (rouge)

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 2006 (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.

Pour les vaches laitières, les facteurs d'émissions tirés de travaux de l'Inrae [508] sont simplifiés et exprimés en fonction du rendement laitier à l'aide de l'équation suivante [509] :

$$\text{CH}_4 \text{ (kg/animal/an)} = 0,0105 \times (\text{rendement laitier (kg/animal/an)}) + 48,971$$

Le rendement laitier (kg/animal/an) est disponible au sein de la base de données OMINEA [792], les valeurs pour certaines années ont été extraites et sont listées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 99 : Evolution du rendement laitier (Métropole uniquement)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Rendement laitier moyen (kg/vache laitière/ an)	4 773	5 358	5 519	5 997	6 468	7 054	7 394

Le rendement laitier étant variable au cours du temps, le facteur d'émission associé l'est aussi. La plage des valeurs 1990-2020 prises par ce facteur d'émission est fournie à la section « Récapitulatif des méthodes employées », et une comparaison a été effectuée avec les valeurs recalculées par la méthode Giec 2006 (voir plus bas).

Les émissions totales sont calculées en multipliant les facteurs d'émission par les données de cheptels, tirées de la SAA [410].

Projet MONDFERENT II - Ovins et Caprins

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 CH₄ à partir de la MODI. Les données sont consignées dans un rapport auquel est associé un outil de calcul [796] [797].

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 CH₄ 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 CH₄/MODI :

$$\text{CH}_4 \text{ (g) / MODI (kg)} = 45,42 - 6,66 \text{ NI} + 0,75 \text{ NI}^2 + 19,65 \text{ PCO} - 35,0 \text{ PCO}^2 - 2,69 \text{ NI} \times \text{PCO}$$

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 :

$$\text{MODI (kg)} = \text{MSI} \times \text{MO} \times \text{dMO}_{\text{corrigée}} / 1000$$

Avec : MSI = Matière Sèche Ingérée (kg) ; MO = Matière Organique (g/kgMSI) ; dMO_{corrigée} = 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 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 SV_{fèces} utilisé au CRF 3B, est obtenue de la façon suivante :

$$\text{SV}_{\text{fèces}} = \text{MONDI (kg)} = \text{MSI} \times \text{MO} / 1000 - \text{MODI}$$

Pour ce projet, l'objectif a été d'être le plus possible en cohérence avec les lignes directrices du Giec 2006, et l'hypothèse a été faite que la matière organique des urines est également émettrice de CH₄. Le SV_{urine} utilisé au CRF 3B, est obtenu de la façon suivante :

$$\text{SV}_{\text{urine}} \text{ (kg)} = \text{MSI} \times \text{MO} / 1000 \times \text{EU/EB}$$

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]

$$\text{EU/EB} = 5,7 - 0,71 \text{ NI}$$

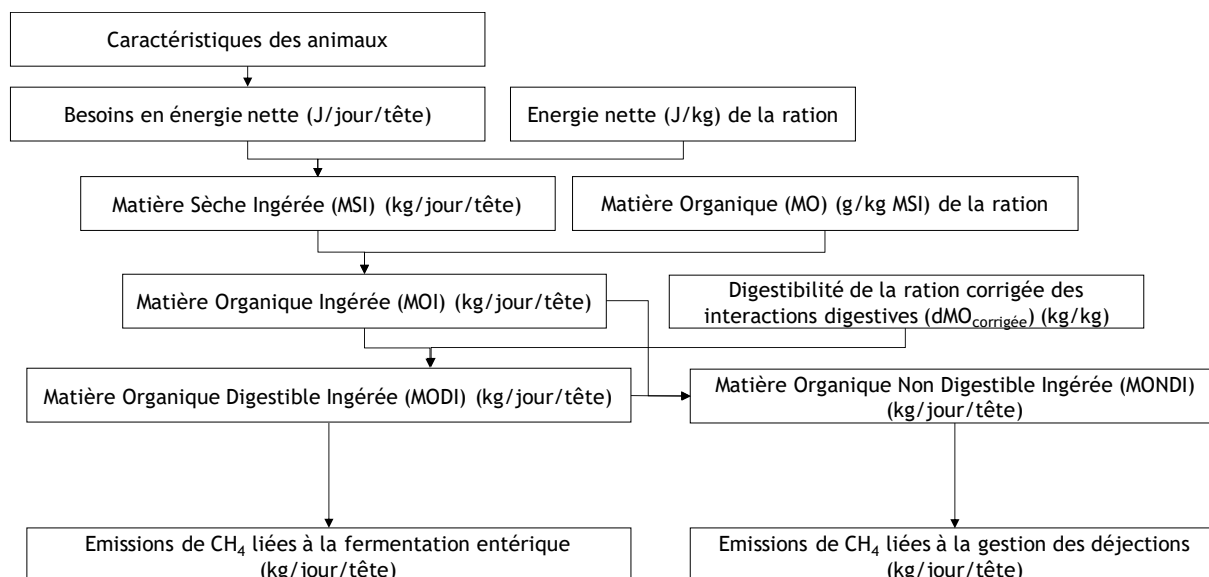


Figure 139 : Schéma récapitulatif de l'évaluation du CH₄ entérique par la méthode MONDFERENT II

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 :

- 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 chevreux et boucs.

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 faite avec les valeurs recalculées par la méthode Giec 2006. 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].

Projet MONDFERENT II - Porcins

Les valeurs fournies par le projet MONDFERENT II 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 CH₄ 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 CH₄ entérique sont calculées avec l'équation suivante :

$$\text{CH}_4 \text{ (kg/tête)} = \text{Aliment} \times (\text{ResD}_{\text{intake}1} \times \text{Prop1} + \text{ResD}_{\text{intake}2} \times \text{Prop2}) \times \text{Perte_Energie} / 55,65$$

Avec : Aliment = quantité d'aliment ingérée au cours de la vie de l'animal (kg/tête) ; ResD_{intake1} et ResD_{intake2} : teneur en fibres digestibles ingérées de l'aliment ; Prop1 et Prop2 : répartition entre les deux aliments ; Perte_Energie : perte d'énergie sous forme de CH₄ 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].

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. Pour les truies, il est fixe dans le temps et provient du projet MONDFERENT II.

Les paramètres $ResD_{intake}$ 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 $ResD_{intake1}$; Prop1 ; $ResD_{intake2}$ et Prop2 sont non nuls pour l'alimentation biphase. En revanche, pour l'alimentation standard, seuls les paramètres $ResD_{intake1}$ 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 générale 3_agriculture) et grâce à l'enquête pratiques d'élevage 2015 [980].

Pour les catégories porcelets en post sevrage (entre 8kg et 30kg) et les porcs à l'engrais (<30kg), le facteur d'émission de CH_4 entérique par tête évolue dans le temps du fait de l'évolution du paramètre Aliment et de la proportion d'animaux en biphase sur la période. Pour les truies, l'évolution est liée à la proportion d'animaux en biphase sur la période.

Pour calculer les émissions de CH_4 entérique des porcelets en post-sevrage et des porcs à l'engrais, l'approche mise en place est l'approche production. Cette approche est jugée plus pertinente car les facteurs d'émission sont exprimés par tête, et ces animaux vivant moins d'un an, il est plus réaliste d'utiliser des données de productions que de cheptels. Les données d'abattages bruts sont fournies par la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée par le SSP [410]. Elles présentent les productions totales pour la métropole et les DOM (correspondant au périmètre Kyoto). 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. 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 générale 3_agriculture).

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].

Travaux de Vermorel et al. (2008) - 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 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 vaches laitières, l'énergie brute estimée à partir des travaux de l'Inrae est simplifiée et exprimée en fonction du rendement laitier à l'aide de l'équation suivante :

$EB \text{ (MJ/animal/jour)} = 0,0278 \times (\text{rendement laitier (kg/animal/an)}) + 109,62$
--

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 :

- 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.

Pour les autres catégories animales, c'est à dire pour les porcins, les équins et les cervidés d'élevage, l'énergie brute n'a pas été calculée.

Facteur de conversion du méthane - Ym

Pour les bovins, les ovins et les caprins, le Ym est recalculé en divisant les émissions de CH₄ entérique obtenues par la méthode française (multipliées par 55,65 qui est la valeur énergétique du méthane) par l'énergie brute (voir ci-dessus).

Pour les autres catégories animales, c'est à dire pour les porcins, les équins et les cervidés d'élevage, le Ym n'a pas été calculé.

Le tableau ci-dessous liste, par sous-catégorie, les facteurs d'émission de CH₄ entérique obtenus et les paramètres associés. Pour les sous-catégories dont les facteurs d'émission évoluent dans le temps, la plage 1990-2020 est indiquée (vaches laitières, porcelets en post sevrage, porcs à l'engrais et truies).

Tableau 100 : Récapitulatif des facteurs d'émission CH₄ entérique et paramètres associés

	Donnée d'activité	Valeur du FE (kg CH ₄ /tête)	Valeur de l'EB (MJ/jour/tête)	Valeur du Ym (%)
Vaches laitières	Cheptel	99,1 - 126,6	242 - 315	6,2 - 6,1
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	0,30 - 0,32	NE	NE
Verrats de 50 kg et plus	Cheptel	0,78	NE	NE
Porcs à l'engrais (>30kg)	Production	0,75 - 0,77	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	8,2	24,1	5,0
Agnelles	Cheptel	7,9	20,6	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	2,3	24,7	1,8
Chevaux de selle, sport, loisirs et course	Cheptel	21,4	NE	NE
Chevaux lourds	Cheptel	21,4	NE	NE
Anes, mulets, bardots	Cheptel	12,1	NE	NE
Cervidés d'élevage	Cheptel	20,0	NE	NE

5.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du Giec est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2^{ème} 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 CH₄ 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 CH₄ 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.

Comparaison Giec 2006 / MONDFERENT I et II

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 2006 a été réalisée pour les bovins, ovins et caprins.

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 [1986], dont voici ci-dessous un extrait traduit.

Extrait d'Eugene et al [1986]

« 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 CH₄ entérique et des déjections, ces dernières étant négativement liées à la MOD. Il faut souligner que le CH₄ 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 engraisés, 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 CH₄ entérique ainsi que les émissions de CH₄ 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 101 : Paramètres et sources associées pour le calcul du CH₄ entérique des bovins

Abréviation	Paramètre	Source
C _f	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] Autres bovins : Giec
Poids	Poids vif de l'animal	Vaches laitières : recalcul à partir des races représentatives de la situation nationale Autres bovins : Mondferent
C _a	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
C _{gestation}	Coefficient de gestation	GIEC
R _{gestation}	Proportion de femelles en gestation sur l'année	Hypothèse Citepa

DE%	Energie digestible en % d'énergie brute	Pondération nationale des données Giec
Y _m	Facteur de conversion du méthane	Giec

Le tableau ci-dessous répertorie les paramètres ainsi que les sources utilisées pour les ovins et les caprins :

Tableau 102 : Paramètres et sources associées pour le calcul du CH₄ entérique des ovins et caprins

Abréviation	Paramètre	Source
C _f	Coefficient permettant de calculer l'énergie nette nécessaire à la survie	Giec
Poids	Poids vif de l'animal	Mondferent II
C _a	Coefficient correspondant aux conditions alimentaires de l'animal	Giec
PP _{agneaux}	Prise de poids (PV _f -PV _i)	Mondferent II
PV _i	Poids vif au moment du sevrage	Mondferent II
PV _f	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
VE _{lait}	Energie nécessaire à la production d'un kg de lait	Giec
VE _{laine}	Valeur énergétique de chaque kg de laine produit	Giec
Production _{laine}	Production annuelle moyenne de laine par mouton	IDELE [983]
C _{gestation}	Coefficient de gestation	Giec
R _{gestation}	Proportion de femelles en gestation sur l'année	Hypothèse Citepa
DA%	Energie digestible en % d'énergie brute	Mondferent II
Y _m	Facteur de conversion du méthane	Giec

Le tableau suivant liste d'une part les facteurs d'émission tirés des projets MONDFERENT I et II pour 1990 et 2020, et ceux calculés à partir des paramètres ci-dessus, en suivant la méthodologie Giec 2006.

Tableau 103 : Comparaison des FE CH₄ entérique - MONDFERENT I et II / Giec 2006

	Facteurs d'émission MONDFERENT		Estimation à partir du Giec 2006		Variation MONDFERENT/Giec 2006 constatée (%)	
	1990	2020	1990	2020	1990	2020
Vaches laitières	99,1	126,6	121,5	148,6	-18%	-15%
Vaches nourrices	81,0	81,0	73,2	73,3	11%	11%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	77,7	77,7	60,8	60,7	28%	28%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	63,2	63,2	59,8	59,7	6%	6%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	69,1	69,1	51,8	51,7	33%	34%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	76,3	76,3	72,6	72,5	5%	5%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	76,3	76,3	69,3	69,3	10%	10%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	55,8	55,8	67,5	67,5	-17%	-17%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	52,4	52,4	60,3	60,3	-13%	-13%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	58,6	58,6	65,5	65,5	-11%	-11%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	64,3	64,3	71,5	71,4	-10%	-10%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	69,3	69,3	71,8	71,6	-3%	-3%
Veaux de boucherie	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%
Autres femelles de moins de 1 an	22,8	22,8	48,2	48,2	-53%	-53%
Autres mâles de moins de 1 an	23,8	23,8	45,6	45,7	-48%	-48%
Chevrettes	9,6	9,6	7,0	7,0	37%	37%
Chèvres (femelles ayant mis bas)	17,5	17,5	15,0	15,0	16%	16%
Autres caprins (y compris boucs)	8,2	8,2	2,9	2,9	184%	184%
Agnelles	7,9	7,9	5,7	5,7	39%	39%
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	15,9	15,9	8,2	8,2	93%	93%
Brebis mères laitières (y c. réforme)	20,3	20,3	14,0	14,0	45%	45%
Autres ovins (y compris béliers)	2,3	2,3	2,6	2,6	-11%	-11%

Pour mieux comprendre les écarts constatés, les tableaux suivants fournissent les valeurs obtenues pour les paramètres EB et Y_m selon les méthodes.

Tableau 104 : Comparaison des EB - MONDFERENT I et II / Giec 2006

	EB recalculée nationale (MJ/jour/tête)		EB estimée à partir du Giec 2006 (MJ/jour/tête)		Variation national/GIEC 2006 (%)	
	1990	2020	1990	2020	1990	2020
Vaches laitières	242	315	285	349	-15%	-10%
Vaches nourrices	190	190	172	172	11%	11%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	181	181	143	142	27%	27%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	142	142	140	140	1%	1%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	155	155	121	121	27%	28%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	172	172	170	170	1%	1%
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	158	158	-18%	-18%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	122	122	141	141	-14%	-14%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	138	138	154	154	-10%	-10%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	159	159	168	168	-5%	-5%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	176	176	168	168	5%	5%
Veaux de boucherie	0	0	87	87	-	-
Autres femelles de moins de 1 an	54	54	113	113	-52%	-52%
Autres mâles de moins de 1 an	63	63	107	107	-41%	-41%
Chevrettes	25,3	25,3	23,8	23,8	6%	6%
Chèvres (femelles ayant mis bas)	56,4	56,4	35,2	35,2	60%	60%
Autres caprins (y compris boucs)	24,1	24,1	8,6	8,6	179%	179%
Agnelles	20,6	20,6	19,3	19,3	7%	7%
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	32,8	32,8	66%	66%
Autres ovins (y compris béliers)	24,7	24,7	8,6	8,6	186%	186%

Tableau 105 : Comparaison des Ym - MONDFERENT I et II / Giec 2006

	Ym recalculé national (%)		Ym estimé à partir du Giec 2006 (%)		Variation national/Giec 2006 (%)	
	1990	2020	1990	2020	1990	2020
Vaches laitières	6,2	6,1	6,5	6,5	-4%	-6%
Vaches nourrices	6,5	6,5	6,5	6,5	0%	0%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	6,5	6,5	6,5	6,5	1%	1%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	6,8	6,8	6,5	6,5	5%	5%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	6,8	6,8	6,5	6,5	5%	5%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	6,7	6,7	6,5	6,5	4%	4%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	6,7	6,7	6,5	6,5	4%	4%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	6,6	6,6	6,5	6,5	1%	1%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	6,5	6,5	6,5	6,5	1%	1%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	6,5	6,5	6,5	6,5	0%	0%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	6,2	6,2	6,5	6,5	-5%	-5%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	6,0	6,0	6,5	6,5	-8%	-8%
Veaux de boucherie	-	-	-	-	-	-
Autres femelles de moins de 1 an	6,5	6,5	6,5	6,5	0%	0%
Autres mâles de moins de 1 an	5,7	5,7	6,5	6,5	-12%	-12%
Chevrettes	5,5	5,5	4,5	4,5	21%	21%
Chèvres (femelles ayant mis bas)	4,4	4,4	6,5	6,5	-32%	-32%
Autres caprins (y compris boucs)	5,0	5,0	5,1	5,1	-2%	-2%
Agnelles	5,5	5,5	4,5	4,5	23%	23%
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	5,9	5,9	6,5	6,5	-10%	-10%
Brebis mères laitières (y c. réforme)	5,3	5,3	6,5	6,5	-18%	-18%
Autres ovins (y compris béliers)	1,8	1,8	4,6	4,6	-62%	-62%

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.

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 2006 qui représentent plus une moyenne des pays développés.

Comparaison des résultats avec la méthode Tier 1 du GIEC

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 2006 Niveau 1 [656].

Tableau 106 : Comparaison des FE nationaux aux FE Tiers 1 du Giec 2006

	Facteurs d'émission nationaux (1990-2020)	Estimation à partir du Giec 2006 (Tableau 10.10)	Variation National/Giec 2006 constatée (%)
Porcins	0,76 - 0,74	1,5	-49% à -51%
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 2006. 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 CRF 3A

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO2e	38 632	37 465	38 107	35 428	35 595	35 346	35 140	34 737	34 203	33 665	0
Nouveau	kt CO2e	38 631	37 464	38 104	35 427	35 594	35 334	35 131	34 750	34 220	33 644	33 137
Différence	kt CO2e	-1,5	-1,6	-2,2	-1,2	-1,00	-12	-8,8	+13	+17	-21	+33 137
	%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	+0%	+0%	-0%	-

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

Description du recalcul

Les variations liées au recalcul sont faibles pour ce poste, mais elles s'expliquent par différentes révisions, listées ci-dessous.

- Pour les vaches laitières : légère révision à la hausse de la production laitière de 2000 à 2007 et en 2019, qui entraîne une légère hausse du FE CH₄. Les effectifs en 2018 ont également été revus à la hausse.
- Pour les autres bovins : correction des effectifs des jeunes bovins en 2007, puis à partir de 2011, mise à jour de la statistique qui redistribue les effectifs entre sous-catégories.
- Pour les ovins : mise à jour des populations DOM en 2019.

- Pour les porcins : révision de la répartition entre sous-catégories issue des typologies d'élevages, entraînant une hausse des effectifs en porcelets, et une baisse pour les porcs charcutiers.
- Pour les chevaux, mules, ânes et caprins : révision des effectifs DOM (à partir de 2016), et métropole (2019 seulement)

Raison et justification

Les raisons et justifications sont l'amélioration de la précision des estimations, avec la mise à jour de certaines données d'activité.

5.2.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
Agriculture	3.A.1 Cattle-CH4 Transparency	The CH4 emission from enteric fermentation from cattle (3.A) is based on the French feeding system where feed consumption data is collected for different livestock categories from different areas in France (Devun et al., 2015, Alimentation des bovins, rations moyennes et niveaux d'autonomie alimentaire). These data are reported in kg dry matter head-1 yr-1 and combined with a French model for CH4 emission from enteric fermentation (Sauvant et al., 2011). In the NIR Tables 97, 98 and 99 France has estimated the energy intake and the emissions from the different livestock categories estimated with the French model and the outcome if the model in the 2006 IPCC Guidelines were used. The 2006 IPCC Guidelines generally recommends the American NCR model. This model is based on the net energy	The ERT recommends that France analyse and discuss in detail the low energy intake and justify the variation in the collected data by Devun et al. (2015), their representativeness for French cattle farming, the quality of the feed and its conversion into metabolized energy as well as other conversion factors such as the validity of basic transformation of ME data to dry matter intake its next submission.	2021 Review PMF* / A.8	Improvements still ongoing. As a national Tier 3 method is used to estimate enteric CH4 from cattle, France included in the NIR the energy intake and the emission factors from the different livestock categories estimated on one hand, with the French model and, on the other hand, the outcome if the model in the 2006 IPCC Guidelines were used. Depending on the subcategory, the French modelling approach shows a lower energy intake (for dairy cows and for most of the young animals) or a higher energy intake (for suckler cows and for most of the animals over 2 years). As underlined by the reviewer, the French method is based on the French animal feeding system, whereas the 2006 IPCC Guidelines generally recommends the American NCR model. We can further explore the subject by questioning relevant INRAE researchers on the feeding topic, but it is very likely that we will need time to include those explanations in the NIR. Moreover, more information on the variation in the collected data by Devun et al. (2015) and their representativeness for French cattle farming will be included in future

		intake (NEI) by the ruminants, whereas the French feeding system is based on feeding units and metabolized energy (ME). In general, the French modelling approach shows a 10-15 per cent lower energy intake than when using the 2006 IPCC Guidelines methodology. The rationale for this difference is not analysed and discussed in the submission.			submission. We will also try to include information on the quality of the feed and its conversion into metabolized energy as well as other conversion factors (including the transformation of ME data to dry matter intake), but it is also very likely that more time will be needed to include those explanations in the NIR.
--	--	---	--	--	--

5.2.7 Améliorations envisagées

La méthodologie utilisée pour estimer les émissions de CH₄ est encore en cours d'évolution afin d'améliorer la prise en compte de l'évolution des performances animales et des pratiques d'élevage depuis 1990. Par ailleurs, les comparaisons avec la méthode Giec 2006 doivent être analysées plus en profondeur de manière à expliquer au mieux les écarts constatés. Un groupe de travail spécifique doit être conduit en 2022 pour avancer sur le sujet, en particulier pour les bovins.

5.3 Gestion des déjections (3B)

5.3.1 Caractéristiques de la catégorie

Les effluents d'élevage sont des sources potentiellement importantes d'émissions (CH₄, COVNM, N₂O, NH₃, NO_x) 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 CH₄ et, dans une moindre mesure, de N₂O. 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 CRF 3B correspondant au bâtiment et au stockage des effluents, en 2020, les bovins contribuent à environ 56% des émissions de GES devant les porcins (36%) et les volailles (5%). Le solde est partagé entre les autres catégories animales.

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

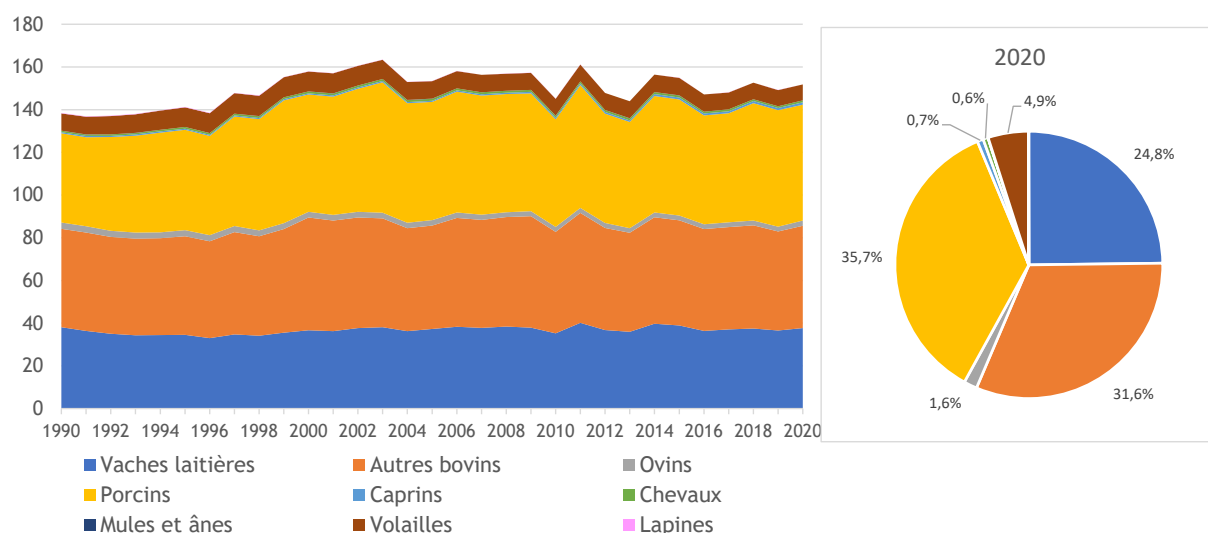


Figure 140 : Evolution et répartition des émissions de CH₄ (kt) de la gestion des déjections par catégorie animale (Périmètre Kyoto)

Les émissions de CH₄ liées à la gestion des déjections ont augmenté de 10% sur la période 1990-2020, cette hausse se retrouvant principalement au niveau du cheptel porcin (+30% des émissions de CH₄ des porcins entre 1990 et 2020).

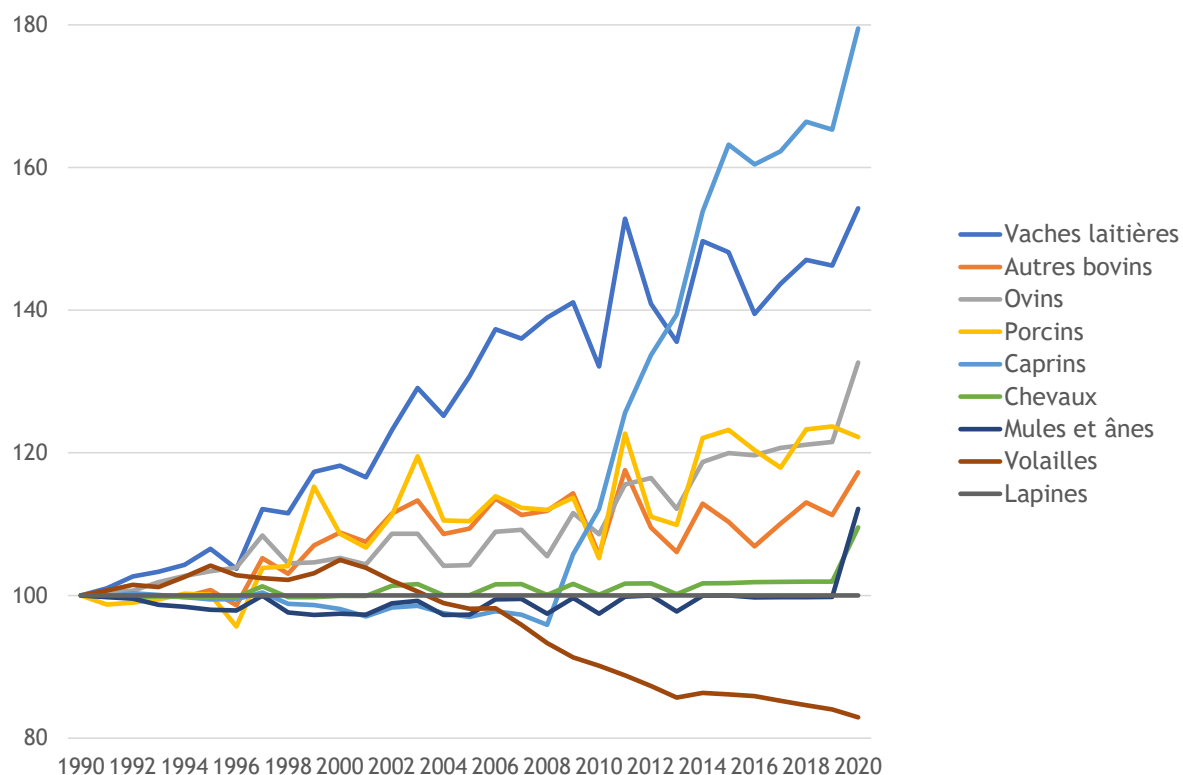


Figure 141 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de CH₄ de la gestion des déjections par tête par an par catégorie animale

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 entraîne une hausse du facteur d'émission pour la catégorie « porcins » sur la période.

Pour les vaches laitières, la hausse du facteur d'émission s'explique par l'augmentation du rendement laitier impactant le paramètre SV à la hausse, ainsi que par l'augmentation de la part des systèmes lisier, plus émetteurs de CH₄. Cette hausse du facteur d'émission moyen est compensée par la baisse du cheptel sur la période. Pour les autres bovins, la hausse globale du facteur d'émission constatée sur la période s'explique par une hausse de la part des vaches nourrices dans les effectifs autres bovins (catégorie plus émettrice) et par le changement de distribution des modes de gestion, avec une progression de la litière accumulée.

Pour les volailles, les variations constatées sont le résultat d'évolution différenciées des sous-catégories, 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.

Enfin, pour l'ensemble des catégories, l'année 2020 voit une hausse importante des facteurs d'émission moyens, qui s'explique principalement par une hausse de la température annuelle moyenne cette année-là, faisant basculer certaines régions en zone tempérée (impactant les valeurs prises par le paramètre MCF).

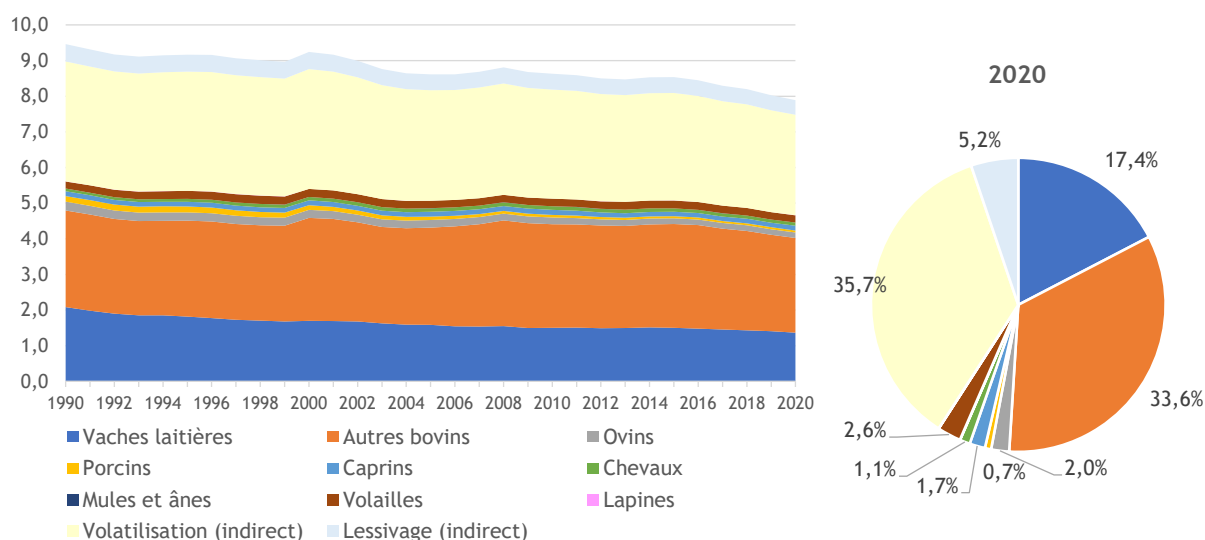


Figure 142 : Evolution et répartition des émissions de N₂O (kt) de la gestion des déjections par catégorie animale (Périmètre Kyoto)

Les émissions de N₂O liées à la gestion des déjections ont diminué de 17% sur la période 1990-2020, principalement du fait des vaches laitières et des émissions indirectes liées à la volatilisation. Les émissions indirectes liées à la volatilisation sont estimées à partir des émissions de NH₃ et de NO_x au bâtiment et au stockage. Les baisses d'émission de ces deux polluants se rencontrent principalement en bovins, porcins et volailles, entraînant de fait une baisse des émissions indirectes de N₂O liées à la volatilisation. L'évolution des émissions de NH₃ et NO_x est décrite dans le rapport UNECE.

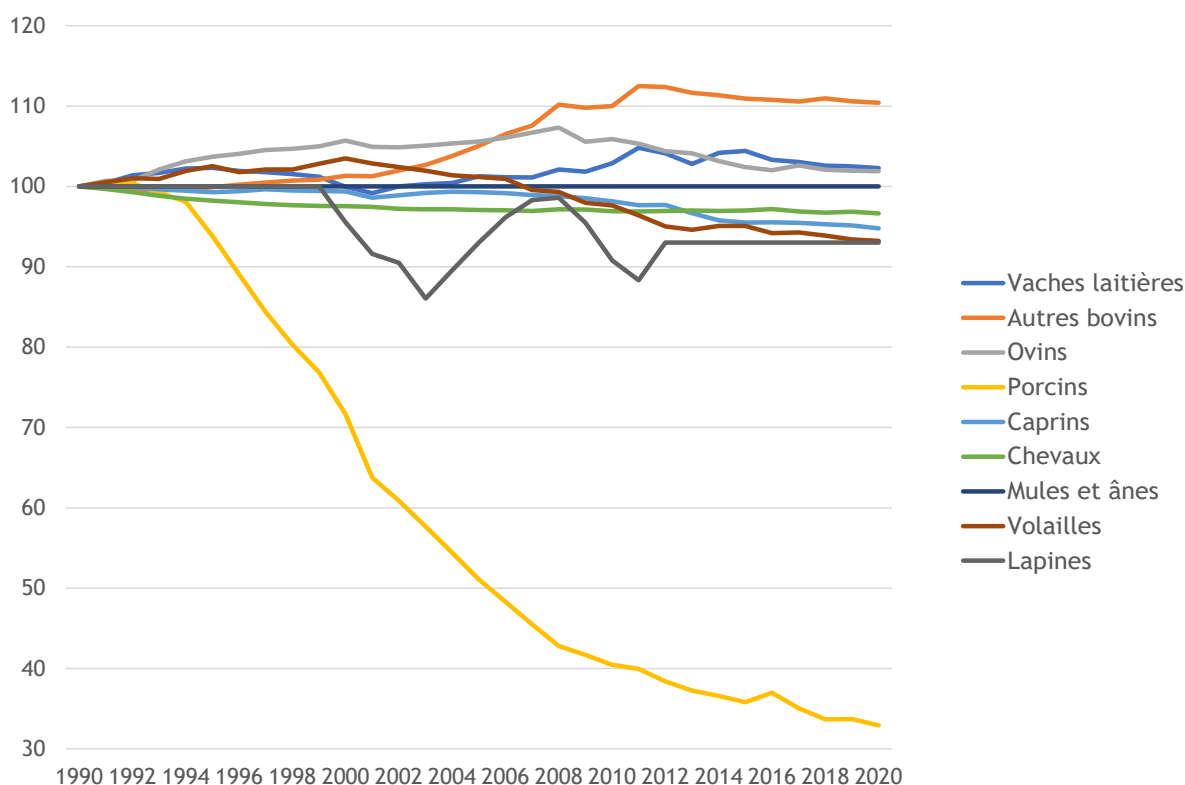


Figure 143 : Evolution (base 100 en 1990) des facteurs d'émission de N₂O de la gestion des déjections par tête par an et par catégorie animale

Pour les vaches laitières, la baisse des émissions s'explique par la diminution du cheptel (voir plus haut), qui contrebalance la hausse du facteur d'émission constatée sur la période. Cette hausse présentée sur le graphique ci-dessus s'explique par la hausse de l'excrétion azotée sur la période, en lien avec l'augmentation du rendement laitier. Pour les autres bovins, la hausse globale du facteur d'émission constatée sur la période s'explique par une hausse de la part des vaches nourrices dans les effectifs autres bovins (excrétion azotée plus forte) et par le changement de distribution des modes de gestion des déjections, avec une progression de la litière accumulée.

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 et de la méthanisation qui présentent un facteur d'émission de N₂O nul.

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/omine/>.

La méthode appliquée correspond à un rang 2 des lignes directrices du Giec 2006.

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 2006.

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.

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 section 3_Agriculture)
- Les systèmes de gestion des déjections (SGDA) (voir section 3_Agriculture)
- Les quantités d'azote et de solides volatils (SV) excrétées (voir section 3_Agriculture et section plus loin)
- Les facteurs d'émissions principalement issus des lignes directrices révisées du Giec de 2006 [656] et du guide EMEP / EEA 2019 [1138],
- Les taux d'application des pratiques de réduction d'émission de NH_3 et les facteurs d'abattement associés.

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.

Emissions de CO_2

Les émissions de CO_2 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

La gestion des déjections est une source clé vis-à-vis des émissions de méthane. Les émissions de CH_4 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 2006 :

$$FE = SV \times 365 \text{ jours/an} \times Bo \times 0,67 \text{ kg/m}^3 \times \sum_i (FCM_i \times SG_i)$$

Avec: Bo = Capacité de production maximale de CH_4 (m^3/kg de SV) ; SV = Solides volatils excrétés (kg/jour) ; FCM = facteur de conversion en CH_4 (%) ; SG : Système de gestion des déjections i = type de gestion.

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 3_Agriculture.

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 « 3_Agriculture », 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 chaîne « classique » (bâtiment, stockage, épandage), et ceux « à vocation méthanisation » (bâtiment, méthanisation, épandage).

Le paramètre SV

Les méthodes d'estimation des SV varient selon les catégories.

Projet MONDFERENT I - Bovins

Pour les bovins, le SV est estimé à partir des travaux de l'Inrae [508, 509]. La méthodologie est décrite en section « 3A_Enteric fermentation ».

Pour rappel, 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 2006, la méthode MONDFERENT I est fondée sur l'utilisation de la Matière Organique Non Digestible et non des énergies. Dans la méthodologie MONDFERENT I, l'hypothèse est faite que la matière organique contenue dans les urines n'émettra que très peu de CH₄ : le SV_{urine} est alors négligé dans les calculs. Des recherches complémentaires sont à effectuer pour estimer les potentiels méthanogènes de la matière organique contenue dans les urines. On obtient donc :

$$SV = SV_{fèces} + SV_{urine}, \text{ avec } SV_{fèces} = MONDI_{fèces} \text{ et } SV_{urine} = 0$$

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.

Dans le cas des vaches laitières, la valeur prise par le paramètre SV est issue d'une équation reliant le SV et le rendement laitier [508] :

$$SV \text{ (kg/animal/jour)} = (0,1146 \times (\text{rendement laitier (kg/animal/an)}) + 715,77) / 365$$

Le rendement laitier (kg/animal/an) est disponible au sein de la base de données Ominea [792]. Les valeurs pour certaines années ont été extraites et sont incluses en section « 3_Agriculture ». Le rendement laitier étant variable au cours du temps, le SV associé l'est aussi. La plage des valeurs prise par ce SV est fournie au niveau du tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV ».

Projet MONDFERENT II - Porcins

Les valeurs fournies par le projet MONDFERENT II [966] concernent 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 :

$$OM_{excreted} \text{ (kg/tête)} = \text{Aliment} \times [(\text{Feed}_{OM1}) \times (1-d_{OM1}) \times \text{Prop1} + (\text{Feed}_{OM2}) \times (1-d_{OM2}) \times \text{Prop2}]$$

Avec : Aliment = quantité d'aliment ingérée au cours de la vie de l'animal (kg/tête) ; Feed_{OM1} et Feed_{OM2} : teneur moyenne en matière organique des aliments (kg/kg) ; d_{OM1} et d_{OM2} : digestibilité de la matière organique des aliments ; Prop1 et Prop2 : répartition entre les deux aliments.

Le paramètre Aliment (kg/animal) pour les porcins (post-sevrage et engraissement) provient des documents de Gestion Technico-économiques publiés chaque année par l'IFIP jusqu'en 2016 [505]. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020. 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 dire d'experts dans le projet MONDFERENT II. Dans la formule ci-dessus, les paramètres Feed_{OM1} ; d_{OM1} ; Prop1 ; Feed_{OM2} ; d_{OM2} et Prop2 sont non nuls pour l'alimentation biphase. En revanche, pour l'alimentation standard, seuls les paramètres Feed_{OM1} ; d_{OM1} 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 générale 3_agriculture) et grâce à l'enquête pratiques d'élevage 2015 [980].

Pour les catégories porcelets en post sevrage (entre 8kg et 30kg) et les porcs à l'engrais (<30kg), le paramètre SV (OM_{excreted}) ainsi calculé évolue dans le temps du fait de l'évolution du paramètre Aliment et de la proportion d'animaux en biphase sur la période. Pour les truies, l'évolution est liée à la proportion d'animaux en biphase sur la période.

Pour calculer le SV final à appliquer à ces deux sous-catégories porcines, l'approche mise en place est l'approche production. Cette approche est jugée plus pertinente car les SV sont exprimés par tête, et ces animaux vivant moins d'un an, il est plus réaliste d'utiliser des données de productions que de cheptels. Les données d'abattages bruts sont fournies par la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée par le SSP [410]. Elles présentent les productions totales pour la métropole et les DOM (correspondant au périmètre Kyoto). 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. 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 générale 3_agriculture).

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.

Projet MONDFERENT II - 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 « 3A_Enteric fermentation ».

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 $SV_{\text{fèces}}$, est obtenue de la façon suivante :

$$SV_{\text{fèces}} = \text{MONDI (kg)} = \text{MSI} \times \text{MO} / 1000 - \text{MODI}$$

Avec : MSI = Matière Sèche Ingérée (kg) ; MO = Matière Organique (g/kgMSI) ; MODI = Matière Organique Digestible Ingérée (kg).

Pour ce projet, l'objectif était d'être le plus possible en cohérence avec les lignes directrices du Giec 2006, 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 :

$$SV_{\text{urine}} \text{ (kg)} = \text{MSI} \times \text{MO} / 1000 \times \text{EU/EB}$$

Avec : MSI = Matière Sèche Ingérée (kg) ; MO = Matière Organique de la ration (g/kgMSI) ; EU/EB : rapport entre l'énergie urinaire et l'énergie brute.

Le rapport EU/EB est calculé selon l'équation suivante, provenant de Sauvant et Giger-Reverdin (2009) [794] :

$EU/EB = 5,7 - 0,71 NI$

Avec : NI = niveau d'ingestion

Les SV_{fèces} et SV_{urine} sont sommés pour obtenir le SV_{total}.

Les SV calculés sont constants dans le temps pour les sous-catégories d'ovins et de caprins.

Pour mettre en cohérence les catégories animales étudiées dans MONDFERENT II avec les catégories animales de la SAA, des pondérations ont été faites à partir des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 :

- 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.

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 » peuvent varier annuellement.

Autres animaux

Pour les équins, les lapines et les cervidés d'élevage, le paramètre SV prend les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 [656].

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 plutôt conseillé de moduler les SV par défaut proposés par le Giec [656] selon le poids des animaux. Dans un second temps, il est indiqué qu'il faudrait pouvoir recalculer ces excréments carbonés en utilisant la digestibilité réelle de la matière organique, pour améliorer les estimations de ce paramètre. Le tableau ci-dessous présente les retraitements effectués par sous-catégorie de volailles :

Tableau 107 : Attributions et retraitements des valeurs SV proposées par le GIEC 2006 pour les sous-catégories volailles

Sous-catégories volailles	Retraitement
Poules pondeuses d'œufs à couvrir	Valeur par défaut pondeuses sans retraitement
Poules pondeuses d'œufs de consommation	Valeur par défaut pondeuses sans retraitement
Poulettes	Attribution de la valeur pondeuses
Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	Valeur par défaut poulets sans retraitement
Canards à gaver	Valeur par défaut canards sans retraitement
Canards à rôtir	Valeur par défaut canards sans retraitement
Dindes et dindons (au 1er octobre)	Valeur par défaut dindes sans retraitement
Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	Attribution de la valeur dinde
Pintades	Attribution de la valeur dinde
Cailles d'élevage	Pondération de la valeur par défaut poulets (poids à 0,9 kg) par le poids moyen des cailles (0,257 kg [504])

Les SV ainsi attribués sont constants dans le temps par sous-catégorie animale, et sont listés plus bas (tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV »). Du fait de la variation annuelle des effectifs des sous-catégories animales, les SV pour les catégories agrégées peuvent varier annuellement.

Tableau 108 : Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV

	SV (kg SV/jour)	Provenance du SV
Vaches laitières	3,46 - 4,28	Mondferent I
Autres bovins	Vaches nourrices	2,86
	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	2,64
	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	2,18
	Génisses de boucherie de plus de 2 ans	2,55
	Mâles de type laitier de plus de 2 ans	2,56
	Mâles de type viande de plus de 2 ans	2,56
	Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	1,89
	Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	1,81
	Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	2,07
	Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	2,31
	Mâles de type viande de 1 à 2 ans	2,73
	Veaux de boucherie	0,85
	Autres femelles de moins de 1 an	0,82
	Autres mâles de moins de 1 an	0,87
Porcins	Porcelets non sevrés (<8kg)	0,00
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	0,07 - 0,08
	Verrats de 50 kg et plus	0,38 - 0,40
	Porcs à l'engrais (>30kg)	0,23 - 0,24
Truies de 50 kg et plus	0,38 - 0,40	Mondferent II
Caprins	Chevrettes	0,42
	Chèvres (femelles ayant mis bas)	1,15
	Autres caprins (y compris boucs)	0,46
Ovins	Agnelles	0,39
	Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	0,63
	Brebis mères laitières (y c. réforme)	1,04
	Autres ovins (y compris béliers)	0,22
Chevaux	Chevaux de selle, sport, loisirs et course	2,13
	Chevaux lourds	2,13
Anes, mulets, bardots		0,94
Volailles	Poules pondeuses d'œufs à couvrir	0,02
	Poules pondeuses d'œufs de consommation	0,02
	Poulettes	0,02
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	0,01
	Canards à gaver	0,02
	Canards à rôtir	0,02
	Dindes et dindons (au 1er octobre)	0,07
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,07
	Pintades	0,07
	Cailles d'élevage	0,003
Autres	Lapines reproductrices	0,10
	Cervidés d'élevage	0,39

Le paramètre Bo

Le paramètre Bo prend les valeurs par défaut fournies par le Giec 2006 [656]. Les valeurs prises par Bo sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 109 : Paramètres Bo utilisés dans l'inventaire

	Vaches laitières	Autres bovins	Porcins et truies	Caprins	Ovins	Chevaux	Mules et ânes	Poules pondeuses	Autres volailles	Lapines	Cervidés d'élevage
Bo	0,24	0,18	0,45	0,18	0,19	0,30	0,33	0,39	0,36	0,32	0,19

Le paramètre FCM

Les paramètres FCM prennent les valeurs par défaut fournies par le Giec [656], en faisant les correspondances avec les systèmes de gestion des déjections rencontrées en France suivantes :

Tableau 110 : Correspondances MCF et systèmes de gestion

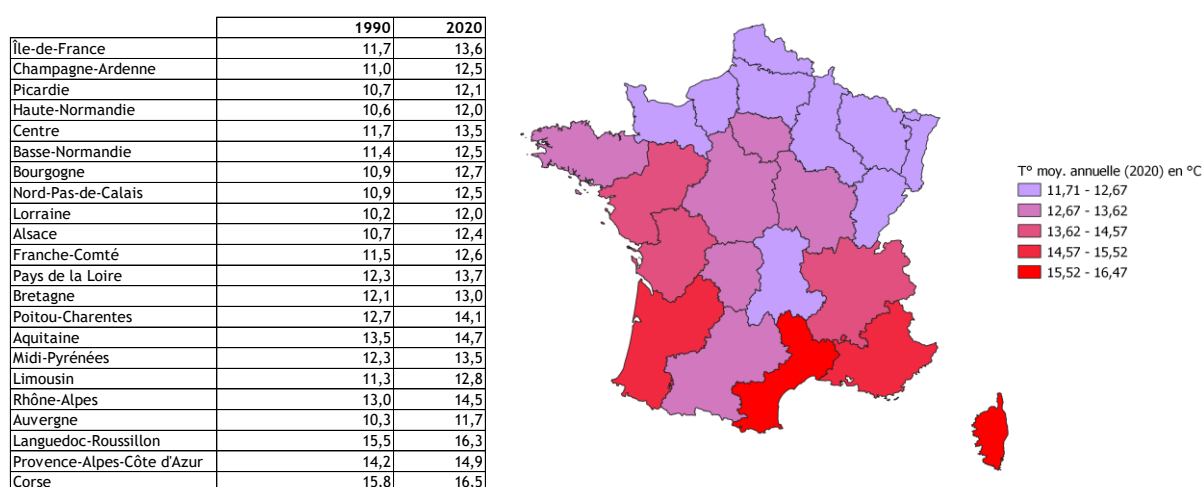
	Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier	Litière accumulée	Pâture			
Vaches laitières	Liquide/lisier sans écorce terrestre naturelle	Liquide/lisier avec écorce terrestre naturelle	Stockage solide	Litière accumulée < 1 mois	Pâturage/parcours/parcelles			
Autres bovins				Litière accumulée > 1 mois				
Porcins				Valeurs par défaut Tableau 10A-9 Pays développés		Valeurs par défaut Tableau 10A-9 Pays développés		
Caprins								
Ovins	Fumier de volaille sans litière			Pâturage/parcours/parcelles				
Chevaux						Valeurs par défaut Tableau 10A-9		
Mules et ânes	Valeurs par défaut Tableau 10A-9							
Poules pondeuses								
Autres volailles								
Lapines reproductrices								
Cervidés d'élevage							Pâturage/parcours/parcelles	

Source Citepa / format Ominea - février 2022

Graph_OMINEA_3.xls/FCM

Les valeurs du FCM varient en fonction de la température moyenne annuelle. Les températures annuelles moyennes régionales issues de Météo France [660] ont été utilisées pour la Métropole. Pour les territoires Outre-Mer, les données Météo France nous permettent de faire l'hypothèse d'une température moyenne annuelle de 25°C. La carte ci-dessous présente la répartition géographique pour l'année 2020.

Figure 144 : Températures moyennes annuelles régionales



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.

La méthodologie de calcul suivie diffère de celle par défaut du Giec, car les lignes directrices proposent un FCM (facteur de conversion en CH₄ (%)) pour la méthanisation allant de 0% à 100% quelle que soit la température, alors que le FCM du fumier vaut 2% à 12°C. Ainsi, méthaniser le fumier conduirait à une hausse des émissions ce qui est peu probable : cela serait vrai uniquement si le méthane n'était pas efficacement capté. Or, le processus de digestion anaérobie cherche à maximiser la production de méthane pour revaloriser cette énergie.

Pour rappel, comme décrit en section « 3_Agriculture », 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 connaît ainsi la répartition des places par espèce et par ancienne région, entre ces différents types de systèmes.

La méthodologie appliquée dans l'inventaire français consiste à appliquer un taux de réduction des émissions de CH₄ liées à la gestion des déjections méthanisées issu de EcoSecurities [661]. Il est **estimé à 85%**. Ainsi, le facteur d'émission de CH₄ associé aux systèmes avec méthanisation est calculé à partir de la même équation que les systèmes « classiques », mais en y introduisant ce taux de réduction :

$$FE_{\text{méthanisation}} = SV \times 365 \text{ jours/an} \times Bo \times 0,67 \text{ kg/m}^3 \times \sum_i (FCM_i \times SG_{i_vocation_méthanisation}) \times (1 - TR)$$

Avec : SV = Solides volatils excrétés (kg/animal/jour) ; Bo = Capacité de production maximale de CH₄ (m³/kg de SV) ; FCM_i = facteur de conversion en CH₄ du SG i (%); SG_{i_vocation_méthanisation} : part des animaux gérés en système de gestion des déjections i à vocation méthanisation (%); TR : Taux de réduction des émissions associé à la méthanisation, ici TR = 85%.

L'ensemble de ces paramètres est connu par ancienne région. Le calcul est effectué directement au sein du module PACRETE (voir section « 3_Agriculture »), au niveau des anciennes régions.

A noter : la somme des SG_i « classiques » et SG_i « à vocation méthanisation » est égale à 100%.

Pour estimer la part des animaux concernés par la méthanisation (SG_{i_vocation_méthanisation}), plusieurs données sont utilisées et plusieurs pré-traitements sont effectués. Ces traitements sont présentés dans la partie générale « 3_Agriculture », au niveau de la section « Systèmes de gestion des déjections animales - Méthanisation ». 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.

Les valeurs prises par le paramètre FCM dépendent du système de gestion mais également de la température annuelle moyenne pour la région concernée (voir section FCM plus haut).

Emissions de N₂O

La méthode de niveau 2 des lignes directrices du Giec [656] estime les trois sources d'émissions de N₂O de l'élevage :

- les émissions directes au bâtiment et au stockage,
- les émissions indirectes liées à la volatilisation de NH₃ et NO_x 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 2006 [656]. Ces émissions sont basées sur :

- l'excrétion azotée des animaux (voir section 3_Agriculture) ;
- les modalités de gestion des déjections (voir section 3_Agriculture) ;
- les facteurs d'émissions par défaut des lignes directrices du Giec 2006 [656].

Le calcul effectué est le suivant :

$$N_2O_{\text{directes}} = \sum_{t,i} N_t \times Fex_{t,i} \times SG_{t,i} \times FE_{t,i} \times 44/28$$

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 ; SG = Système de gestion des déjections ; FE_{t,i} = Facteur d'émission pour le système de gestion i de la catégorie animale t.

Attention : on ne comptabilise pas d'émission directe de N₂O pour les effluents méthanisés.

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 111 : Correspondances facteurs d'émission et systèmes de gestion

	Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier	Litière accumulée	Pâture
Vaches laitières	Liquide/lisier sans croûte naturelle 0 kgN-N ₂ O/kgNex	Liquide/lisier avec croûte naturelle 0,005 kgN-N ₂ O/kgNex	Stockage solide 0,005 kgN-N ₂ O/kgNex	Litière accumulée Pas de mixage 0,01 kgN-N ₂ O/kgNex	Emissions traitées dans la section 3D_Agricultural soils
Autres bovins					
Porcins					
Caprins					
Ovins					
Chevaux					
Mules et ânes					
Poules pondeuses	Fumier de volaille sans litière 0,001 kgN-N ₂ O/kgNex		Fumier de volaille avec litière 0,001 kgN-N ₂ O/kgNex		
Autres volailles					
Lapines reproductrices	Liquide/lisier sans croûte naturelle 0 kgN-N ₂ O/kgNex		Stockage solide 0,005 kgN-N ₂ O/kgNex		
Cervidés d'élevage					

Source CITEPA / format OMINEA - février 2020

Graph_OMINEA_3.xls/N₂O_directLes émissions indirectes liées à la volatilisation

Les émissions indirectes liées à la volatilisation sont calculées selon l'équation 10.27 des lignes directrices du Giec 2006 [656] :

$$N_2O_{\text{indirectes volatil}} = N_{\text{volatilisation}} \times FE_4 \times 44/28$$

Avec : $N_{\text{volatilisation}}$ = Quantité d'azote des déjections perdue en raison de la volatilisation du NH₃ et du NO_x (kgN/an) ; FE_4 = Facteur d'émission du GIEC pour les émissions de N₂O dues au dépôt atmosphérique d'azote sur les sols et des surfaces aquatiques (kg N-N₂O/(kg N-NH₃ + kg N-NO_x)).

La quantité d'azote des déjections perdue en raison de la volatilisation du NH₃ et du NO_x correspond à la somme des émissions suivantes :

$$N_{\text{volatilisation}} = N-NH_3 \text{ Bâtiment} + N-NH_3 \text{ Stockage} + N-NO_x \text{ Stockage}$$

Avec : $N-NH_3 \text{ Bâtiment}$ = Emissions de N-NH₃ au bâtiment ; $N-NH_3 \text{ Stockage}$ = Emissions de N-NH₃ au stockage ; $N-NO_x \text{ Stockage}$ = Emissions de N-NO_x au stockage.

Ces émissions d'azote sous forme de NH₃ et NO_x sont calculées conformément à la méthode EMEP/EAA 2019 [1138], détaillée en sections « Emissions de NH₃ » 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 [799] : $FE_4 = 0,01 \text{ kg N-N}_2\text{O}/(\text{kg N-NH}_3 + \text{kg N-NO}_x)$.

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 2006 [656].

$$N_2O_{\text{indirectes lixiv}} = N_{\text{lixiv}} \times FE_5 \times 44/28$$

Avec : N_{lixiv} = Quantité d'azote des déjections lessivée des systèmes de gestion solide (stockage solide et litière accumulée) (kgN/an) ; FE_5 = Facteur d'émission du GIEC pour les émissions de N₂O de l'azote de lixiviation et écoulements (kg N-N₂O/kg N lessivé et écoulé).

La quantité d'azote du fumier lessivée est calculée conformément à la méthode EMEP/EAA 2019 [1138], détaillée en section « Emissions de NH₃ » ainsi que dans le rapport UNECE.

Attention : on ne comptabilise pas d'émission indirecte de N₂O liée au lessivage pour les effluents méthanisés.

Le facteur d'émission utilisé est tiré du Giec [799] : $FE_5 = 0,0075 \text{ kg N-N}_2\text{O}/\text{kg N lessivé et écoulé}$.

Emissions de Gaz fluorés

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

Emissions de NO_x

Les émissions de NO_x (NO exprimé en équivalent NO₂) issues du stockage des déjections sont mal connues. Ces émissions sont estimées conformément à la méthodologie EMEP/EEA 2019 [1138].

La méthodologie EMEP distingue deux types d'effluents : liquide et solide. Ci-dessous la correspondance avec les systèmes de gestion décrits en section « 3_Agriculture » :

Tableau 112 : 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 NO_x (NO exprimé en équivalent NO₂), sont calculées comme suit :

$$NO_2 = [TAN_{stock_liquide} \times FE_stockage_NO_{liquide} + TAN_{stock_solide} \times FE_stockage_NO_{solide}] \times 46/14$$

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.

Les facteurs d'émission utilisés correspondent aux facteurs d'émission par défaut tirés d'EMEP 2019 (Tableau 3-10) et varient selon les modes de gestion des déjections animales (liquide et solide). Ces facteurs d'émission sont exprimés par unité d'azote ammoniacal stocké, dont le calcul est détaillé dans la section « Emissions de NH₃ ». On a :

- FE_{stockage_NO_{liquide}} = 0,0001 kg N-NO/kg TAN_{stock} ;
- FE_{stockage_NO_{solide}} = 0,01 kg N-NO/kg TAN_{stock}.

Emissions de NH₃

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 2019 [1138]. 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 NH₃ sont intégrées dans le calcul :

- Lavage d'air dans les bâtiments porcins et volailles,
- 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 NH₃ vont se poursuivre afin de refléter au mieux l'évolution des pratiques du secteur.

Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction**(1) Lavage d'air dans les bâtiments porcins et volailles**

En 2015, une enquête « pratiques d'élevage » a été menée par le service des statistiques du Ministère de l'Agriculture [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 « 3_Agriculture ».

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 la section « 3_agriculture ».

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 « 3_agriculture ».
- Pour les verrats : faute de données disponibles dans les enquêtes, les valeurs recalculées pour les truies leur sont attribuées.
- Pour les poulets de chair : ils sont tous regroupés en une catégorie dans la SAA, quel que soit leur type de production (standard ou lourd). La pondération entre les valeurs des poulets standards et celles des poulets lourds a été effectuée à partir de données fournies annuellement par l'ITAVI [987] sur la répartition des effectifs en poulets de chair par mode de production (export, standard, lourd, CCP, bio, label rouge). Ainsi, pour faire le lien avec les capacités des enquêtes pratiques d'élevage, ont été considérés comme « standards » les poulets standards et export, le solde étant considéré comme poulets lourds.
- Pour les poules pondeuses d'œuf pour la consommation : elles sont toutes regroupées en une catégorie dans la SAA, quel que soit leur type de production (bio, plein air, sol ou cage). La pondération entre les valeurs par mode de production a été effectuée à partir de données fournies annuellement par l'ITAVI [987] sur la répartition des effectifs en poules pondeuses par mode de production (au sol, bio, en cage, label rouge, plein air). Pour faire le lien avec les capacités des enquêtes pratiques d'élevage, les poules label rouge ont été considérées comme élevées au sol. Les autres correspondances sont directes.

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 ;
- En volailles de chair : Pays de la Loire, Bretagne, Nouvelle-Aquitaine ;
- En pondeuses : Pays de la Loire, Bretagne.

La distinction régionale n'a pas pu être exploitée en volailles car la répartition des animaux par mode de production estimée à partir des données de l'ITAVI (cf. ci-dessus), n'est connue qu'au niveau national. Les pourcentages d'animaux gérés dans des bâtiments avec traitement de l'air estimés au niveau national ont donc été appliqués uniformément entre les régions :

- Pour la catégorie **poulets de chair** : on considère que **1,9% du cheptel** en métropole en 2015 est géré dans des bâtiments avec traitement de l'air ;
- Pour la catégorie **dindes** : on considère que **3,3% du cheptel** en métropole en 2015 est géré dans des bâtiments avec traitement de l'air ;
- Pour la catégorie **poules pondeuses d'œuf pour la consommation** : on considère que **2,8% du cheptel** en métropole en 2015 est géré dans des bâtiments avec traitement de l'air.

En revanche, la distinction régionale a pu être exploitée pour les porcins. 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 « 3_agriculture ») :

- **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.

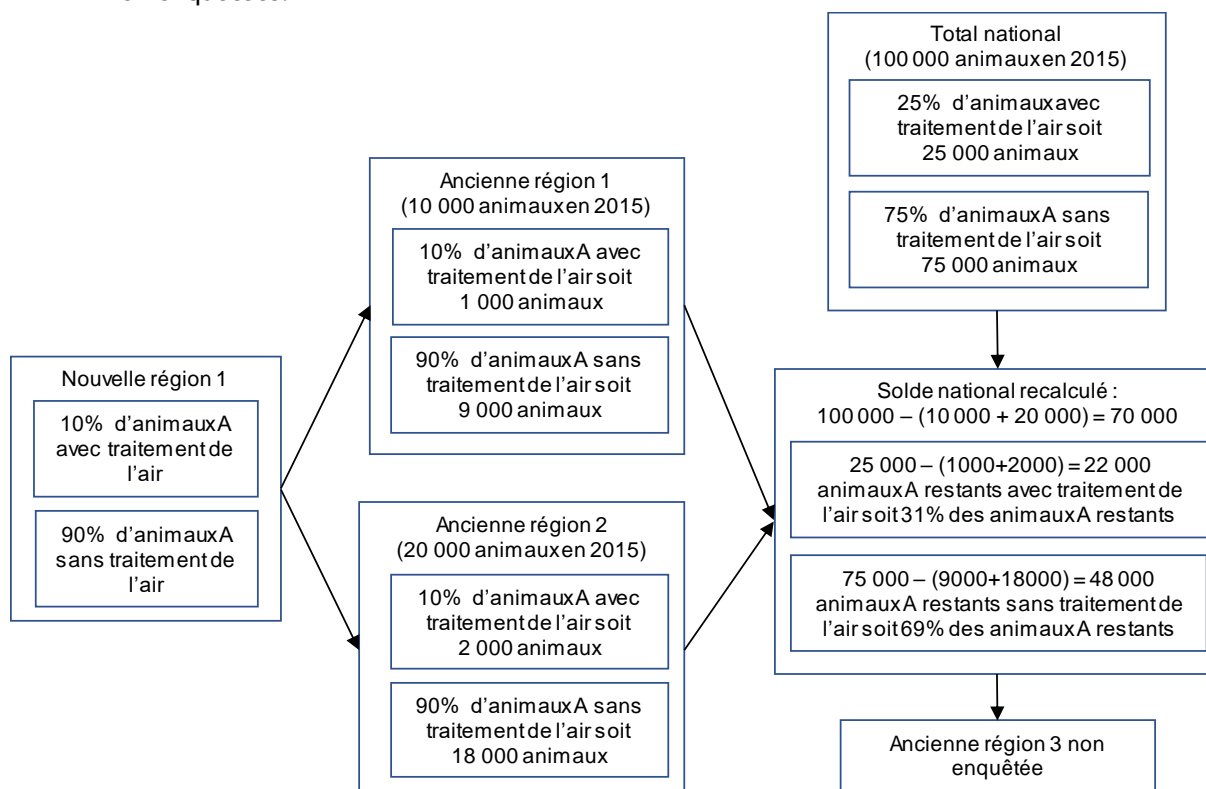


Figure 145 : Illustration fictive du retraitement des données de traitement de l'air en bâtiments porcins effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage

Les résultats des données retravaillées pour les porcins sont les suivants :

Tableau 113 : 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 114 : 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

(2) 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] fournissent le nombre de stations en Bretagne pour les années 2013, 2016 et 2017. L'UGPVB a également fourni les quantités d'azote résorbées en Bretagne pour 2010, 2013 et 2015.

Ces différentes données nous permettent de formuler des hypothèses de manière à estimer le nombre de stations de nitrification-dénitrification sur la période :

Tableau 115 : 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		
2007	Données [990]		
2008- 2012	Interpolation linéaire 2007 - 2013	Report de la valeur recalculée 2005	Somme des stations Bretagne + Hors Bretagne
2013	Données [991]		
2014-2015	Interpolation linéaire 2013 - 2016		
2016	Données [992]		
2017	Données [992]		
2018	Report de la donnée 2017		
2019	Report de la donnée 2017		
2020	Report de la donnée 2017		

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 116 : 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		
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	Application du ratio moyen (18 tN/station/an) au nombre de stations recalculé	Somme des stations Bretagne + Hors Bretagne
2013	Données [991] x 90%		
2014-2015	Interpolation linéaire 2013 - 2016		
2016	Données [992] x 90%		
2017	Données [992] x 90%		
2018	Report de la donnée 2017		
2019	Report de la donnée 2017		
2020	Report de la donnée 2017		

(3) 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 « 3_agriculture »), **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 **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 NH₃.

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** (porcins, ovins, caprins).

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 ;
- En ovins : Nouvelle-Aquitaine, Occitanie, Auvergne - Rhône-Alpes ;
- En caprins : Nouvelle-Aquitaine, Auvergne - Rhône-Alpes, Centre-Val de Loire.

Ces distinctions régionales ont pu être exploitées. Pour compléter la couverture géographique des résultats et effectuer les calculs au niveau des anciennes régions, des **retraitements simplifiés** par rapport à ceux proposés pour le lavage d'air ont été effectués :

- **Etape 1** : traitement des données pour les nouvelles régions enquêtées. Les pourcentages de fosses couvertes (bâche et mât central + bâche flottante) 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 du lisier stocké dans une fosse couverte par grande catégorie animale.
- **Etape 2** : attribution du pourcentage national aux régions non enquêtées. Les pourcentages de fosses couvertes (bâche et mât central + bâche flottante) sont connus au niveau national.

Ces pourcentages nationaux sont attribués aux anciennes régions non enquêtées afin de définir la part du lisier stocké dans une fosse couverte par grande catégorie animale.

Les résultats des données retravaillées sont les suivants :

Tableau 117 : Pourcentages des lisiers stockés en fosse couverte pour les porcins, caprins et ovins, par grande région productrice et solde national

% des lisiers stockés en fosse couverte (bâche et mât central + bâche flottante)	Porcins	Ovins	Caprins
Bretagne	2,7%		
Pays de la Loire	1,9%		
Picardie (désormais Hauts-de-France)	0,7%		
Nord-Pas-de-Calais (désormais Hauts-de-France)	0,7%		
Languedoc-Roussillon		7,7%	
Poitou-Charentes		0,0%	8,7%
Aquitaine		0,0%	8,7%
Midi-Pyrénées		7,7%	
Limousin		0,0%	8,7%
Rhône-Alpes			8,9%
Centre			16,7%
Auvergne			8,9%
Solde national	2,6%	4,6%	8,5%

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 118 : Attribution des taux d'application de la couverture de fosse sur la période

	1990	1991 - 2004	2005 - année en cours
% des lisiers stockés en fosse couverte (bâche et mât central + bâche flottante)	0%	Interpolation linéaire 1990 - 2005	Données 2015

(4) Modes d'épandage moins émissifs - Matériel et délais

Pour estimer les abattements liés aux modalités d'épandage, il faut pouvoir estimer les quantités d'azote ammoniacal épandues par type d'association (matériel + délais d'incorporation).

Les données utilisées sont issues des résultats d'enquêtes nommées « pratiques culturelles », conduites pour les années 2011 et 2017 [485], fournies par le service des statistiques du Ministère de l'Agriculture. Ces données 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 119 : Combinaisons des pratiques tirées des enquêtes Pratiques Culturelles 2011 et 2017

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	Epandeur fumier	1 à 5
		Indifférencié	1 à 5
Autres	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

Grâce à ces données, il est alors possible de répartir les quantités d'azote ammoniacal épandues (appelées TAN_{épandus}) par combinaison de pratiques pour les années 2011 et 2017.

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 culturelles 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. Les données sont utilisées de la façon suivante 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 ;
- à partir de 2017 : utilisation des données 2017.

Pour les autres effluents, les données sont utilisées de la façon suivante sur la période :

- de 1990 à 2011 : utilisation des données 2011 ;
- de 2012 à 2016 : interpolation linéaire entre les données de 2011 et celles de 2017 ;
- à partir de 2017 : utilisation des données 2017.

Tableau 120 : Attribution des taux d'application des différents modes d'épandage sur la période

	1990-2001	2002-2010	2011	2012 - 2016	2017 - année en cours
Lisiers bovins et porcins	Données 2001 avec application des délais 2011	Interpolation linéaire 2001- 2011	Données 2011	Interpolation linéaire 2011- 2017	Données 2017
Autres déjections		Données 2011		Interpolation linéaire 2011- 2017	Données 2017

Méthodologie générale d'estimation des émissions

La méthodologie EMEP est basée sur les flux d'azote ammoniacal 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 :

$$NH_3 \text{ Total} = NH_3 \text{ Bâtiment} + NH_3 \text{ Stockage} + NH_3 \text{ Epandage} + NH_3 \text{ Pâturage}$$

Cependant, les émissions sont rapportées dans des catégories différentes :

- NH_3 Bâtiment : émissions rapportées en 3B_Manure management ;
- NH_3 Stockage : émissions rapportées en 3B_Manure management ;
- NH_3 Epandage : émissions rapportées en 3D_Agricultural soils ;
- NH_3 Pâturage : émissions rapportées en 3D_Agricultural soils.

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 reportages 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 « 3_Agriculture » :

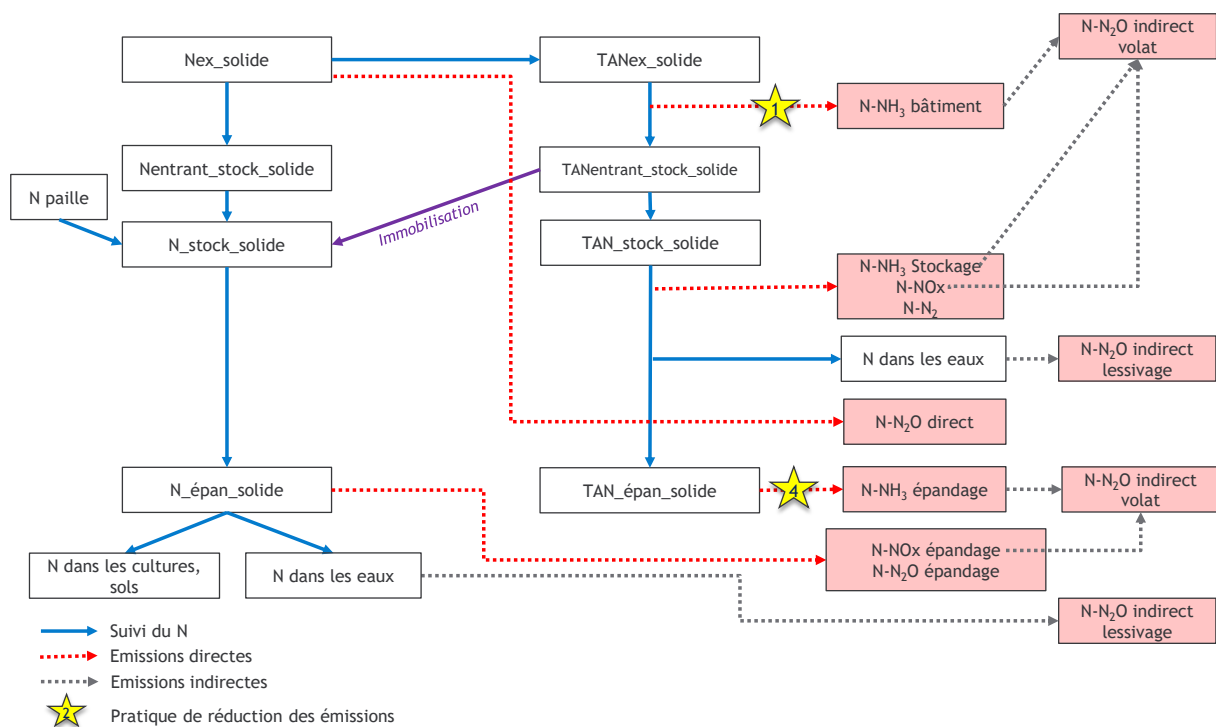
Tableau 121 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion

	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 NH_3 suivantes : (1) Lavage d'air en bâtiments (porcins et volailles) ; (2) traitement des lisiers porcins par nitrification-dénitrification ; (3) couverture de fosse des lisiers (porcins, ovins, caprins) ; (4) matériel et délais d'épandage permettant la réduction des émissions.

Figure 147 : Suivi de l'azote en gestion solide



546 | Citepa | Mars 2022

Figure 148 : Suivi de l'azote en gestion liquide avec méthanisation

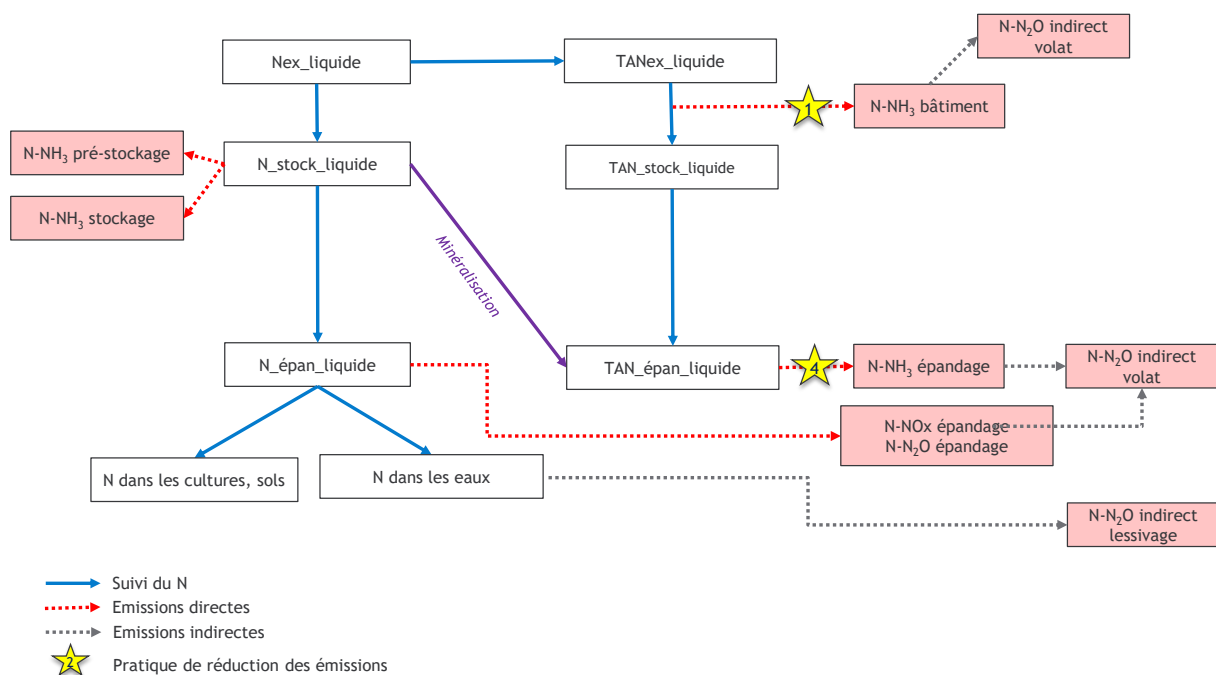
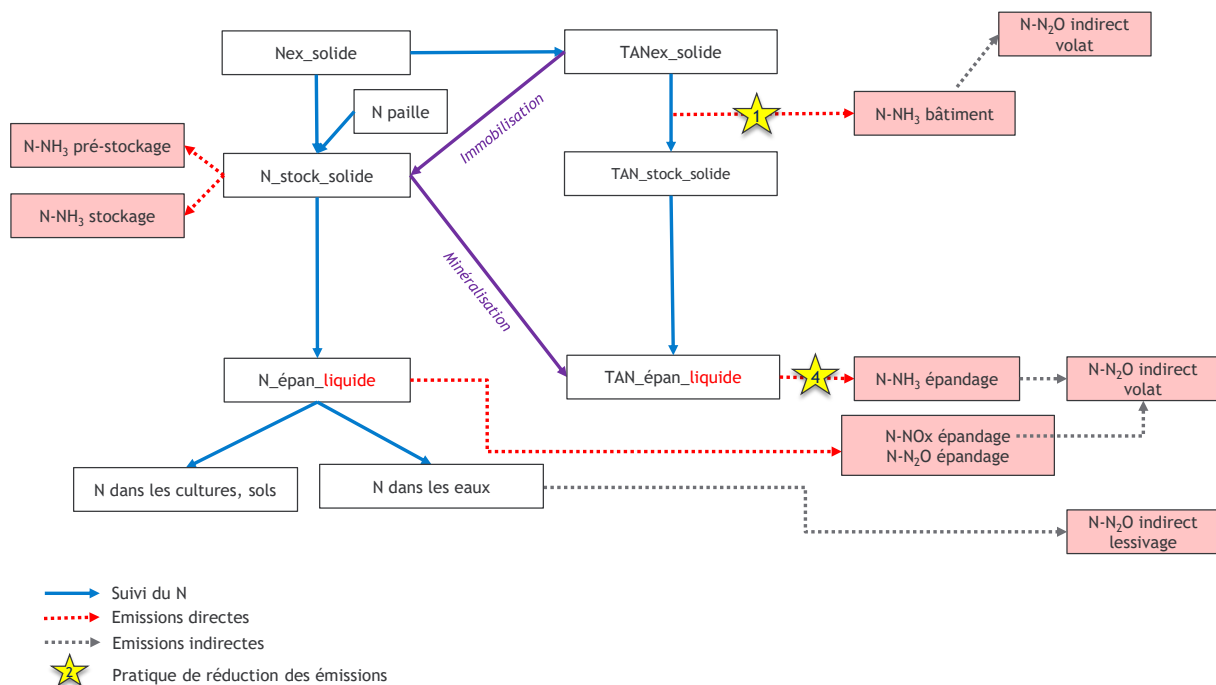


Figure 149: Suivi de l'azote en gestion solide avec méthanisation



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 : $N_{ex\ i}$ = 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 = part de la population gérée en système de gestion des déjections i ; F_{ex} = facteur d'excrétion azotée pour la catégorie concernée (kgN/tête).

Les F_{ex} sont nationaux et sont présentés en section 3_Agriculture.

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 paramètres TAN varient selon les catégories animales et prennent les valeurs par défaut proposées par EMEP 2019, à l'exception de la catégorie équins pour laquelle les valeurs sont tirées d'une publication nationale [473]. La catégorie « cervidés d'élevage » se voit attribuer la même valeur que celle de la catégorie « ovins » faute de données disponibles.

Tableau 122 : Tableau récapitulatif des proportions de TAN utilisées par catégorie animale

	TAN (part du N_{ex})
Vaches laitières	0,60
Autres bovins	0,60
Porcins et truies	0,70
Caprins	0,50
Ovins	0,50
Equins	0,55
Volailles	0,70
Lapines reproductrices	0,60
Cervidés d'élevage	0,50

C'est à partir de l'azote ammoniacal qu'est calculé l'azote volatilisé en NH_3 au bâtiment, selon l'équation suivante :

$$N-NH_3 \text{ Bâtiment} = \sum_i [\text{Frac}_{Air\ i} \times (TAN_{ex\ i} \times FE_{i \text{ Bâtiment}} \times FA_{Air}) + (1 - \text{Frac}_{Air\ i}) \times (TAN_{ex\ i} \times FE_{i \text{ Bâtiment}})]$$

Avec : $\text{Frac}_{Air\ i}$: part des animaux gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air (ratio) ; $FE_{Bâtiment}$: Facteur d'émission de NH_3 au bâtiment (kg $N-NH_3$ /kg TAN) ; FA_{Air} : facteur d'ajustement associé au lavage d'air (ratio).

L'estimation du paramètre Frac_{Air} , représentant la part des animaux gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air, est présentée dans la section « 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 et pour une partie des volailles**.

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 2019, 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 la transition écologique (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 entraînant 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 1990-2020.

Tableau 123 : Facteurs d'émission de N-NH₃ au bâtiment

	FE N-NH ₃ Liquide (kg N-NH ₃ /TAN _{ex})	FE N-NH ₃ Solide (kg N-NH ₃ /TAN _{ex})
Vaches laitières	0,24	0,08
Autres bovins	0,24	0,08
Porcins	Porcelets non sevrés (<8kg)	0,27
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	0,27
	Verrats de 50 kg et plus	0,35
	Porcs à l'engrais (>30kg)	0,27
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 couvrir	0,20 - 0,14
	Poules pondeuses d'œufs de consommation	0,20 - 0,14
	Poulettes	0,20 - 0,14
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	0,14 - 0,15
	Canards à gaver	0,24
	Canards à rôti	0,24
	Dindes et dindons (au 1er octobre)	0,19
	Oies au 1er octobre (à rôti, à gaver)	0,57
	Pintades	0,19
	Cailles d'élevage	0,19
Autres	Lapines reproductrices	0,27
	Cervidés d'élevage*	-

* gestion uniquement à la pâture

Les émissions de NH₃ au bâtiment sont obtenues de la façon suivante :

$$\text{NH}_3 \text{ Bâtiment} = \text{N-NH}_3 \text{ Bâtiment} \times 17/14$$

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 :

$$\text{TAN}_{\text{entrant_stock}_i} = \text{TAN}_{\text{ex}_i} - \text{N-NH}_3 \text{ Bâtiment}_i$$

$$\text{N}_{\text{entrant_stock}_i} = \text{N}_{\text{ex}_i} - \text{N-NH}_3 \text{ Bâtiment}_i$$

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 :

$$\text{Liquide : TAN}_{\text{stock}_i} = \text{TAN}_{\text{entrant_stock}_i} + (\text{N}_{\text{entrant_stock}_i} - \text{TAN}_{\text{entrant_stock}_i}) \times F_{\min} \text{ (équation a)}$$

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 dans la section « *Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction* ». Cet azote est estimé au niveau national, pour l'ensemble des catégories porcines. On fait l'hypothèse que tout l'azote résorbé est de l'azote ammoniacal.

La prise en compte de ce traitement implique de faire **sortir l'azote résorbé du suivi de l'azote** à partir duquel sont estimées les émissions. Pour cela, l'azote résorbé au niveau national toutes catégories porcines confondues est réparti au prorata de la contribution en TAN_{stock} de chaque catégorie porcine, pour chaque région, aux quantités nationales de TAN_{stock} pour l'ensemble de la catégorie porcine. Cette estimation est une **première approximation** qui pourra être améliorée par la suite.

$$Frac_{reg,animal} = TAN_{stock_reg_animal} / TAN_{stock_national_porcs}$$

Avec : $TAN_{stock_reg_animal}$: quantité d'azote ammoniacal au stockage pour l'animal concerné, pour la région concernée ; $TAN_{stock_national_porcs}$: quantité d'azote ammoniacal au stockage toutes catégories porcines confondues, au niveau national.

L'équation (a) présentée ci-dessus s'applique à l'ensemble des catégories animales, à l'exception donc des porcins qui se voient appliquer l'équation (b) ci-dessous :

$$\textbf{Liquide : } TAN_{stock_i} = [TAN_{entrant_stock_i} + (N_{entrant_stock_i} - TAN_{entrant_stock_i}) \times F_{min}] - N_{resorb} \times Frac_{reg,animal} \quad (\text{équation b})$$

Avec : N_{resorb} = Quantité d'azote résorbée au niveau national, toutes catégories porcines confondues (kg TAN/an) ; $Frac_{reg,animal}$: part de l'azote ammoniacal de l'animal concerné, pour la région concernée, par rapport à l'azote ammoniacal national total toutes catégories porcines confondues.

Pour les systèmes solides, la présence de paille favorise l'assimilation de l'azote par les micro-organismes de la litière. Ce transfert est traduit par l'équation suivante :

$$\textbf{Solide : } TAN_{stock_i} = TAN_{entrant_stock_i} - Paille \times F_{imm}$$

$$N_{stock_i} = N_{entrant_stock_i} + Paille \times T_{MS} \times T_N$$

Avec : $Paille$ = quantité de paille apportée (tonnes de matière fraîche) ; F_{imm} = Facteur d'immobilisation par défaut proposé par EMEP 2019 (= 0,0067 kg/ kg de matière fraîche) ; T_{MS} = taux de matière sèche contenue dans la paille (kg matière sèche/kg matière fraîche) ; 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 « 3_Agriculture », 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 2019 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 NH_3 au stockage est calculé selon l'équation suivante :

$$N-NH_3 \text{ Stockage} = \sum_i [Frac_{Couv_i} \times TAN_{stock_i} \times FE_{i \text{ Stock}} \times FA_{Couv}] + (1 - Frac_{Couv_i}) \times TAN_{stock_i} \times FE_{i \text{ Stock}}]$$

Avec : $Frac_{Couv_i}$: part des liquides stockés dans des fosses couvertes (ratio) ; $FE_{i \text{ Stock}}$: Facteur d'émission de NH_3 au stockage (kg $N-NH_3$ /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 dans la section « *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 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 2019.

Tableau 124 : Facteurs d'émission de $N-NH_3$ au stockage

	FE $N-NH_3$ Liquide (kg $N-NH_3$ /TAN _{stock})	FE $N-NH_3$ Solide (kg $N-NH_3$ /TAN _{stock})
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 couvrir	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
	Canards à rôtir	0,24
	Dindes et dindons (au 1er octobre)	0,24
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,16
	Pintades	0,24
	Cailles d'élevage	0,24
	Lapines reproductrices	0,09
Autres	Cervidés d'élevage*	-

* gestion uniquement à la pâture

Les émissions de NH_3 au stockage sont obtenues de la façon suivante :

$$NH_3 \text{ Stockage} = N-NH_3 \text{ Stockage} \times 17/14$$

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 2006. 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 2019, à partir de l'équation suivante :

$$N-N_2 = TAN_{\text{stock}_i} \times FE_{N_2}$$

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 2019 (Tableau 3-10) et varient selon les modes de gestion des déjections animales (liquide et solide) :

- $FE_{\text{stockage}_N2_{\text{liquide}}} = 0,003 \text{ kg } N-N_2/\text{kg TAN}_{\text{stock}}$;
- $FE_{\text{stockage}_N2_{\text{solide}}} = 0,3 \text{ kg } N-N_2/\text{kg TAN}_{\text{stock}}$.

Les émissions de NO_x sont estimées conformément à la méthodologie EMEP 2019, à partir de l'équation suivante. Le calcul détaillé est situé à la section « Emissions de NO_x ».

$$N-NO_x = TAN_{\text{stock}_i} \times FE_{NO}$$

Enfin, il faut également estimer les quantités d'azote lixivié et écoulé au cours du stockage. Pour rappel, c'est à partir de ces quantités d'azote lessivé et écoulé que sont calculées les émissions indirectes de N₂O liées à la lixiviation. D'après la méthodologie EMEP 2019, le lessivage de l'azote n'a lieu que pour les systèmes de gestion des déjections solide, à hauteur de 12% du TAN stocké. Le calcul est effectué selon l'équation suivante :

$$N_{\text{lessivé}} = \text{TAN}_{\text{stock}_i} \times \text{Part_N_lixiv}$$

Avec : Part_N_lixiv = Part du TAN stocké partant dans les eaux.

Poste Méthanisation

Pour les effluents partant en méthanisation, la méthodologie à suivre diffère légèrement. Les facteurs d'émission sont issus du chapitre 5B2 d'EMEP 2019 [1145], Tables 3.2 et 3.3. Contrairement aux facteurs d'émission classiquement utilisés, ces facteurs d'émission sont basés sur l'azote total. Il est cependant important de continuer à suivre l'azote total et l'azote ammoniacal :

$$\text{Liquide : } \text{TAN}_{\text{stock_liquide}} = \text{TAN}_{\text{ex_liquide}} - \text{N-NH}_3 \text{ Bâtiment_liquide}$$

$$N_{\text{stock_liquide}} = N_{\text{ex_liquide}} - \text{N-NH}_3 \text{ Bâtiment_liquide}$$

$$\text{Solide : } \text{TAN}_{\text{stock_solide}} = \text{TAN}_{\text{ex_solide}} - \text{N-NH}_3 \text{ Bâtiment_solide} - \text{Paille} \times F_{\text{imm}}$$

$$N_{\text{stock_solide}} = N_{\text{ex_solide}} - \text{N-NH}_3 \text{ Bâtiment_solide} + \text{Paille} \times T_{\text{MS}} \times T_{\text{N}}$$

Avec : Paille = quantité de paille apportée (tonnes de matière fraîche) ; F_{imm} = Facteur d'immobilisation par défaut proposé par EMEP 2019 (= 0,0067 kg / kg de matière fraîche) ; T_{MS} = taux de matière sèche contenue dans la paille (kg matière sèche / kg matière fraîche) ; T_{N} = taux d'azote contenu dans la paille (kg N / kg de matière sèche).

Les émissions du pré-stockage et du stockage sont estimées sur la base du $N_{\text{stock_solide}}$ et du $N_{\text{stock_liquide}}$:

$$\text{N-NH}_3 \text{ Pré-stockage} = \sum_i N_{\text{stock}_i} \times \text{FE}_{\text{Pré-stockage}}$$

L'indice i distingue la gestion solide de la gestion liquide.

Avec : $\text{FE}_{\text{Pré-stockage}}$: Facteur d'émission de N-NH₃ au pré-stockage = 0,0009 kg N-NH₃ / kg N (EMEP 2019).

$$\text{N-NH}_3 \text{ Stockage} = \sum_i N_{\text{stock}_i} \times \text{FE}_{\text{Stockage}}$$

L'indice i distingue la gestion solide de la gestion liquide.

Avec : $\text{FE}_{\text{Stockage}}$: Facteur d'émission de N-NH₃ au pré-stockage = 0,0266 kg N-NH₃ / kg N (EMEP 2019).

Important : ces émissions sont converties en NH₃ et rapportées en « 5B2 - Biological treatment of waste - Anaerobic digestion at biogas facilities ».

$$\text{NH}_3 \text{ Total_méthanisation} = (\text{N-NH}_3 \text{ Pré-stockage} + \text{N-NH}_3 \text{ Stockage}) \times 17/14$$

Ces effluents, après méthanisation et stockage, ont vocation à être épandus. D'après la méthodologie EMEP 2019, 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 par l'équation suivante, permettant d'estimer l'azote ammoniacal total (sous forme liquide) disponible pour l'épandage :

$$\text{TAN}_{\text{épan_liquide_métha}} = \sum_i [\text{TAN}_{\text{stock}_i} - (\text{N-NH}_3 \text{ Pré-stockage}_i + \text{N-NH}_3 \text{ Stockage}_i) + (N_{\text{stock}_i} - \text{TAN}_{\text{stock}_i}) \times F_{\text{min}}]$$

Avec : F_{min} = Facteur de minéralisation par défaut proposé par EMEP 2019 (=0,32).

Il est également nécessaire d'estimer l'azote total disponible pour l'épandage :

$$N_{\text{épan_liquide_métha}} = \sum_i [N_{\text{stock}_i} - (\text{N-NH}_3 \text{ Pré-stockage}_i + \text{N-NH}_3 \text{ Stockage}_i)]$$

Poste Epandage

En plus du « $TAN_{\text{épan_liquide_métha}}$ » présenté ci-dessus, issu des effluents méthanisés, on estime le TAN disponible des effluents 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 :

$$TAN_{\text{épan_liquide}} = TAN_{\text{stock_liquide}} - [N-NH_3 \text{ Stock_liquide} + N-N_2 \text{ Stock_liquide} + N-NO \text{ Stock_liquide} + N-N_2O \text{ Stock_liquide}]$$

$$N_{\text{épan_liquide}} = N_{\text{stock_liquide}} - [N-NH_3 \text{ Stock_liquide} + N-N_2 \text{ Stock_liquide} + N-NO \text{ Stock_liquide} + N-N_2O \text{ Stock_liquide}]$$

Solide :

$$TAN_{\text{épan_solide}} = TAN_{\text{stock_solide}} - [N-NH_3 \text{ Stock_solide} + N-N_2 \text{ Stock_solide} + N-NO \text{ Stock_solide} + N-N_2O \text{ Stock_solide} + N_{\text{lessivé}}]$$

$$N_{\text{épan_solide}} = N_{\text{stock_solide}} - [N-NH_3 \text{ Stock_solide} + N-N_2 \text{ Stock_solide} + N-NO \text{ Stock_solide} + N-N_2O \text{ Stock_solide} + N_{\text{lessivé}}]$$

Important pour la section 3D_Agricultural soils : la somme de $N_{\text{épan_liquide_métha}}$, $N_{\text{épan_liquide}}$ et $N_{\text{épan_solide}}$ est utilisée pour le calcul des émissions de N_2O liées à l'épandage des déjections, émissions prises en compte dans la section « 3D_Agricultural soils ».

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. Les calculs des émissions est alors effectué selon l'équation suivante :

$$N-NH_3 \text{ Epandage} = \sum_i \text{Frac}_{\text{Epa_i,k}} \times TAN_{\text{épan_i,k}} \times FE_{\text{Epan,i}} \times FA_{i,k}$$

Avec : $\text{Frac}_{\text{Epa_i,k}}$: part des déjections épandue selon l'association (matériel + délais) concernée ; $FE_{\text{Epan,i}}$: Facteur d'émission de NH_3 à l'épandage (kg $N-NH_3$ /kg $TAN_{\text{épan}}$) ; $FA_{i,k}$: Facteur d'ajustement de l'association (matériel + délais).

Attention : les effluents sortant de méthanisation sont assimilés à l'épandage à des effluents liquides.

L'estimation du paramètre $\text{Frac}_{\text{Epa_i,k}}$, représentant la part des déjections épandue par association (matériel + délais) est présentée dans la section « Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction ». Pour rappel, toutes les catégories animales sont concernées.

Les facteurs d'abattement liés aux matériels utilisés proviennent de la guidance UNECE [809]. Ceux liés aux délais d'incorporation après épandage sont tirés d'une étude menée en France par l'ADEME [803].

Ces facteurs d'abattement sont exprimés dans nos équations en facteur d'ajustement 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 dans les 4 heures après épandage, on multiplie le facteur d'ajustement du pendillard par celui du délai.

Le tableau ci-dessous récapitule les différents facteurs d'ajustement par matériel, délais et combinaisons :

Tableau 125 : Facteurs d'ajustement liés aux pratiques d'épandage

Matériel	Facteur d'ajustement matériel	Délais	Facteur d'ajustement délais	Facteur d'ajustement combinaison
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 NH₃ à l'épandage prennent les valeurs proposées par EMEP 2019.

Tableau 126 : Facteurs d'émission de N-NH₃ à l'épandage

	FE N-NH ₃ Liquide (kg N-NH ₃ /TAN _{épan})	FE N-NH ₃ Solide (kg N-NH ₃ /TAN _{épan})
Vaches laitières	0,55	0,68
Autres bovins	0,55	0,68
Porcins	Porcelets non sevrés (<8kg)	0,40
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	0,40
	Verrats de 50 kg et plus	0,29
	Porcs à l'engrais (>30kg)	0,40
	Truies de 50 kg et plus	0,29
Caprins	0,90	0,90
Ovins	0,90	0,90
Chevaux	-	0,90
Mules et ânes	-	0,90
Volailles	Poules pondeuses d'œufs à couvrir	-
	Poules pondeuses d'œufs de consommation	-
	Poulettes	-
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	-
	Canards à gaver	0,54
	Canards à rôti	0,54
	Dindes et dindons (au 1er octobre)	-
	Oies au 1er octobre (à rôti, à gaver)	0,45
	Pintades	-
	Cailles d'élevage	-
	Lapines reproductrices	0,69
	Cervidés d'élevage*	-

* gestion uniquement à la pâture

Les émissions de NH₃ à l'épandage sont obtenues de la façon suivante :

$$\text{NH}_3 \text{ Epandage} = \text{N-NH}_3 \text{ Epandage} \times 17/14$$

Important : ces émissions de NH₃ à l'épandage ne sont pas comptabilisées en « 3B_Manure management » mais en « 3D_Agricultural soils ».

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 :

$$N_{\text{ex_p\grave{a}ture}} = \text{Population}_{\text{totale}} \times SG_{\text{p\grave{a}ture}} \times F_{\text{ex}}$$

Avec : $N_{\text{ex_p\grave{a}ture}}$ = Quantité d'azote totale excrétée par une catégorie à la pâture (kgN) ; $\text{Population}_{\text{totale}}$ = Cheptel de la catégorie concernée (tête) ; $SG_{\text{p\grave{a}ture}}$ = 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 3_Agriculture.

Important pour la section 3D_Agricultural soils : les quantités d'azote totales excrétées à la pâture ($N_{\text{ex_p\grave{a}ture}}$) sont utilisées pour le calcul des émissions de N_2O prises en compte dans la section « 3D_Agricultural soils ».

L'azote excrété est ensuite converti en azote ammoniacal (TAN) :

$$TAN_{\text{ex_i}} = N_{\text{ex_i}} \times TAN$$

Avec : TAN : Proportion d'azote ammoniacal

Les émissions de NH_3 des animaux à la pâture sont estimées de la façon suivante

$$N-NH_3 \text{ P\grave{a}ture} = TAN_{\text{ex_p\grave{a}ture}} \times FE_{\text{P\grave{a}ture}}$$

Avec : $TAN_{\text{ex_p\grave{a}ture}}$ = quantités d'azote ammoniacal excrété à la pâture ; $FE_{\text{P\grave{a}ture}}$ = 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 2019, 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 MEDA B. et al. [482]. Faute de données concernant les lapines reproductrices, le FE des volailles leur est attribué. La catégorie « cervidés d'élevage » se voit attribuer la même valeur que celle de la catégorie « ovins » faute de données disponibles.

Tableau 127 : Facteurs d'émission de $N-NH_3$ à la pâture

	FE $N-NH_3$ P\grave{a}ture (kg $N-NH_3$ /TAN $_{\text{ex_p\grave{a}ture}}$)
Vaches laitières	0,14
Autres bovins	0,14
Porcins et truies	0,31
Caprins	0,09
Ovins	0,09
Chevaux	0,35
Mules et ânes	0,35
Volailles	0,018
Lapines reproductrices	0,018
Cervidés d'élevage	0,09

Les émissions de NH_3 à la pâture sont obtenues de la façon suivante :

$$NH_3 \text{ P\grave{a}ture} = N-NH_3 \text{ P\grave{a}ture} \times 17/14$$

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 2^{ème} 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 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.

D'après les lignes directrices du Giec 2006, l'application d'une méthode tier 2 pour estimer les facteurs d'émission de CH₄ 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 dire 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 CH₄** ramené au cheptel, tous systèmes confondus.

Pour les facteurs d'émission directe de N₂O, 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 dire 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 N₂O** 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 2006 a été réalisée pour le paramètre VS pour les bovins, ovins et caprins.

L'équation proposée par le Giec 2006 pour estimer les SV est la suivante :

$$SV = [EB \times (1 - dE\% / 100) + (EU \times EB)] \times [(1 - CENDRE) / 18,45]$$

Avec : EB = Consommation d'énergie brute (MJ/jour) ; dE% : Digestibilité de l'énergie (%) ; EUxEB = 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 « 3A_Enteric Fermentation » ont été utilisées.

Le tableau ci-dessous récapitule par sous-catégorie les variations constatées entre les deux méthodes :

Tableau 128 : Comparaison des VS - MONDFERENT I et II / Giec 2006

	VS MONDFERENT		Estimation à partir du Giec 2006		Variation MONDFERENT/GIEC 2006 constatée (%)	
	1990	2020	1990	2020	1990	2020
Vaches laitières	3,5	4,3	5,3	6,5	-35%	-34%
Vaches nourrices	2,9	2,9	3,0	3,0	-5%	-5%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,7	2,6	0%	0%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	2,2	2,2	2,5	2,4	-11%	-11%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,1	2,1	20%	21%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	2,6	2,6	3,2	3,2	-19%	-19%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,8	2,8	-10%	-10%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	1,9	1,9	3,0	2,9	-36%	-36%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	1,8	1,8	2,5	2,5	-27%	-27%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	2,1	2,1	2,7	2,7	-23%	-23%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	2,3	2,3	3,1	3,1	-26%	-26%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	2,7	2,7	2,9	2,9	-7%	-7%
Veaux de boucherie	0,8	0,8	1,5	1,5	-44%	-44%
Autres femelles de moins de 1 an	0,8	0,8	2,0	2,0	-60%	-60%

Caprins	Autres mâles de moins de 1 an	0,9	0,9	1,9	1,9	-55%	-55%
	Chevrettes	0,4	0,4	0,4	0,4	9%	9%
	Chèvres (femelles ayant mis bas)	1,1	1,1	0,6	0,6	82%	82%
	Autres caprins (y compris boucs)	0,5	0,5	0,2	0,2	203%	203%
Ovins	Agnelles	0,4	0,4	0,3	0,3	15%	15%
	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%	72%

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 2006 qui représente plus une moyenne des pays développés.

Comparaison des F_{ex}

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 2006 a été réalisée pour le paramètre F_{ex} pour les bovins, ovins et caprins.

L'équation proposée par le Giec 2006 pour estimer les F_{ex} est la suivante (noté N_{ex} 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 2006 (équation 10.33) :

$$N_{re\text{tenu}} \text{ (kg N/animal/jour)} = N_{consommation} / 365 \times N_{rétention}$$

$$= [\text{Lait} \times (\text{Lait PR\%}/100) / 6,38] + [\text{PP} \times (268 - (7,03 \times \text{EN}_{c\text{ce}} / \text{PP})) / (1000/6,25)]$$

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 2006.

Pour les autres animaux, des valeurs N_{rétention} par catégorie sont fournies par défaut par le Giec 2006 (Tableau 10.20).

Le paramètre N_{consommation} est quant à lui estimé à partir de l'équation proposée par le Giec 2006 :

$$N_{consommation} = \text{EB} / 18,45 \times (\text{PB\%} / 100 / 6,25)$$

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 « 3A_Enteric Fermentation » ont été utilisées.

Le tableau ci-dessous récapitule par sous-catégorie les variations constatées entre les deux méthodes :

Tableau 129 : Comparaison des Fex - MONDFERENT I et II / Giec 2006

		F _{ex} nationaux		Estimation à partir du Giec 2006		Variation national/GIEC 2006 constatée (%)	
		1990	2020	1990	2020	1990	2020
Vaches laitières		102,4	116,7	122,3	140,8	-16%	-17%
Autres bovins	Vaches nourrices	107,3	107,3	69,0	69,1	55%	55%
	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	69,7	69,1	72,9	72,8	-4%	-5%
	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	67,0	66,9	59,0	59,0	14%	13%
	Génisses de boucherie de plus de 2 ans	44,2	43,6	51,6	51,5	-14%	-15%
	Mâles de type laitier de plus de 2 ans	79,1	78,6	86,6	86,5	-9%	-9%
	Mâles de type viande de plus de 2 ans	77,8	77,8	68,3	68,3	14%	14%
	Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	53,5	53,2	78,0	77,9	-31%	-32%
	Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	51,1	51,1	57,6	57,6	-11%	-11%
	Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	43,1	42,9	61,2	61,1	-30%	-30%
	Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	57,8	57,6	81,8	81,6	-29%	-29%
	Mâles de type viande de 1 à 2 ans	56,4	56,1	66,8	66,7	-16%	-16%
	Veaux de boucherie	12,6	12,6	55,0	55,2	-77%	-77%
	Autres femelles de moins de 1 an	26,5	26,8	47,9	48,0	-45%	-44%
	Autres mâles de moins de 1 an	27,6	27,6	41,7	41,9	-34%	-34%
Caprins	Chevrettes	7,6	7,6	7,7	7,7	-1%	-1%
	Chèvres (femelles ayant mis bas)	17,2	17,2	14,5	14,5	19%	19%
	Autres caprins (y compris boucs)	9,1	9,1	5,1	5,1	79%	79%
Ovins	Agnelles	7,9	7,9	7,3	7,3	8%	8%
	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	3,9	3,6	3,6	10%	10%

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 2006 qui représente plus une moyenne des pays développés.

5.3.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRF 3B

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	6 293	6 276	6 720	6 413	6 209	6 391	6 162	6 148	6 228	6 088	0
Nouveau	kt CO ₂ e	6 280	6 263	6 702	6 403	6 202	6 418	6 196	6 173	6 259	6 122	6 146
Différence	kt CO ₂ e	-13	-13	-18	-11	-6,9	+27	+34	+25	+31	+34	+6 146
	%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	+0%	+1%	+0%	+1%	+1%	-

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

Description du recalcul

Les variations liées au recalcul sont faibles pour ce poste. Elles s'expliquent par différentes révisions, listées ci-dessous.

- Pour l'ensemble des catégories : révision à la baisse de la température annuelle moyenne 2019, impactant les valeurs du paramètre MCF.

- Pour les vaches laitières : mise à jour de la production laitière (de 2000 à 2007 et 2019 à la hausse entraînant une hausse du VS et du Nex) et des effectifs (en 2018 à la hausse). Les données de méthanisation ont également été mises à jour depuis 2011.
- Pour les autres bovins : mise à jour de la statistique, avec une redistribution des effectifs entre sous-catégories (révision à la baisse du VS et du Nex en 2007, et à la hausse de 2011 à 2019). Les données de méthanisation ont également été légèrement révisées à partir de 2008.
- Pour les porcins : mise à jour de la répartition entre sous-catégories et révision à la baisse des données de la méthanisation à partir de 2012.
- Pour les ovins, caprins, équins : révision du MCF pour les DOM (remise en cohérence avec les valeurs métropole) et des effectifs.
- Pour les émissions indirectes de N₂O liées à la redéposition : révision à la hausse des émissions de NH₃ en poulets de chair et prise en compte des émissions de NH₃ au bâtiment des effluents méthanisés, entraînant une révision à la hausse du N₂O indirect.
- Pour les émissions indirectes de N₂O liées au lessivage : de 1990 à 2010, révision à la baisse principalement en lien avec l'augmentation des émissions de NH₃ en poulets de chair, qui laisse moins d'azote disponible pour le lessivage. A partir de 2011, révision à la baisse en lien avec la redistribution entre sous-catégories bovines.

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 correction d'erreur (pour les émissions indirectes de N₂O liées à la redéposition).

5.3.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report/ paragraph	MS response / status of implementation
Agriculture	3.B.1 Cattle - CH ₄ (A.2, 2019) (A.3, 2017) (A.20, 2016) (A.20, 2015) Transparency	Provide in the NIR disaggregated values on a livestock subcategory level for animal body weight and any other important parameters used (e.g. net energy intake, organic matter intake, feed digestibility) and explain the approach used to calculate weighted average values.	The Party has implemented further information in its NIR (p.446-455) and has partially implemented the requested information. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed as France is using a national CH₄ calculation methodology based on kg CH₄ per kg animal (NIR page 482-487) rather than the method from the 2006 IPCC Guidelines, which use a percentage loss of carbon converted to CH₄ (Y_m) of the total C intake in feed.	2021 Review PMF* / A.1	Improvements still ongoing. The method used in France to estimate enteric CH ₄ from cattle is a national Tier 3 method, which differs from the 2006 IPCC Tier 2 method as underlined by the review. The Tier 3 method used has been developed by INRA and has been published in the Journal of Environmental Management (Eugene and al, 2019 "A new Tier 3 method to calculate methane emission inventory for ruminants"). The transparency of the current description in the NIR could be improved by providing more explanations on the method, the parameters used, and on the differences pointed out by the comparison with the 2006 IPCC Tier 2 method. However, as it is a complex

					topic, more time is needed to clearly explain all these elements. We will try to conduct those improvements regarding transparency in future reports.
Agriculture	3.B Manure management - CH ₄ and N ₂ O (A.19, 2019) Accuracy	Implement data-collection efforts that allow for the separate reporting of data on the allocation of manure subject to composting by climate region and the methane conversion factor, Nex for composting and N ₂ O emissions associated with the composting MMS, noting that this would improve the accuracy and comparability of the inventory.	The Party has reported that it has difficulties to collect data on composting, but it is in progress.	2021 Review PMF* / A.4	Not yet implemented. There is still little information on composting in France, thus it cannot be a mid-term objective for us to implement any modification regarding composting. However, we could try to further explore the subject in future years in order to increase the accuracy of the estimates.

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 2006 et à pouvoir expliquer les écarts constatés. Un groupe de travail spécifique doit être conduit en 2022 pour avancer sur le sujet, en particulier pour les bovins.

En 2019, le projet UREA conduit par l'Idel 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 NH₃ et de GES. Le Citepa doit désormais approfondir les résultats obtenus et voir s'il est possible de les intégrer dans les futurs inventaires, mais 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 doit être conduit en 2022 pour avancer sur le sujet.

Le travail d'amélioration de la prise en compte de la méthanisation va se poursuivre ces prochaines années, tout comme celui de la prise en compte des pratiques existantes pour la réduction des émissions d'ammoniac, impactant les émissions indirectes de N₂O.

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 14 000 ha en 2020 et à quelques milliers d'hectares en Guyane française.

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/omine/>.

La méthode appliquée est de rang 1.

Émissions de CO₂

Les émissions de CO₂ des rizières liées à l'usage d'amendements basiques et d'urée sont rapportées dans les sections 3G et 3H.

Émissions de CH₄

Les émissions de CH₄ provenant des rizières sont estimées en utilisant le facteur d'émission proposé par le GIEC [805], calculé à partir de l'équation 5.2 :

$$EF_i = EF_C \times SF_W \times SF_P \times SF_O \times SF_{s,r}$$

Avec : EF_i = Facteur d'émission journalier par ha ; EF_C = Facteur d'émission correspondant au niveau de référence, i.e. à une situation de culture inondée en continu, sans amendements organiques ; SF_W = Facteur de correction prenant en compte le système de gestion de l'eau pendant la période de culture ; SF_P = Facteur de correction prenant en compte le système de gestion de l'eau avant la culture ; SF_O = Facteur de correction prenant en compte le type et la quantité d'amendements organiques apportés ; SF_{s,r} = Facteur de correction prenant en compte le type de sol, le type de riz, etc.

Le facteur d'émission EF_C, est issu des lignes directrices [805] et vaut 1,3 kg CH₄/ha/jour.

Les différents facteurs de correction utilisés pour adapter le facteur d'émission de référence à la situation française sont les suivants :

- SF_W : prend la valeur par défaut proposée par le GIEC pour le régime « irrigué », soit 0,78 ;
- SF_P : prend la valeur par défaut proposée par le GIEC pour le régime hydrique « non inondé pendant une période supérieure à 180 jours », soit 0,68. 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 ;
- SF_{s,r} : égal à 1 faute de données disponibles.

Le facteur de correction SF_O, correspondant à la quantité d'amendements organiques apportés, est calculé selon l'équation du GIEC 2006 suivante :

$$SF_O = (1 + \sum_i Tx AO_i \times FCAO_i)^{0,59}$$

Avec : Tx AO_i = Taux d'application de l'amendement organique i, en poids sec pour la paille et en poids frais pour les autres, tonnes/ha ; FCAO_i = 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 2006.

On considère qu'en France, les seuls amendements organiques apportés sont les pailles de riz. Le taux d'application associé est estimé à partir des quantités de matières sèches des résidus de la riziculture non brûlés (cf. calcul en section 3D_Agricultural soils), moyennées sur la période 1990 à l'année en cours et rapportées à la superficie des rizières. Le taux moyen obtenu est de 0,12 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 2006, égal à 0,29. 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 est de 106 kg CH₄/ha/an. Ce facteur d'émission a été calculé pour la métropole (Camargue).

Pour l'Outre-Mer (Guyane et Mayotte), les émissions sont calculées à partir de la méthodologie des lignes directrices du GIEC 2006 en intégrant spécifiquement les variables proposées pour les pays tropicaux. 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 2007, il est de 204 kg CH₄/ha ; puis à partir de 2007, il est de 53 kg CH₄/ha.

Pour Mayotte, le facteur d'émission obtenu est constant (78 kg CH₄/ha) sur toute la période.

Tableau 130. Récapitulatif des paramètres utilisés pour le calcul des facteurs d'émission du riz

	Provence-Alpes Côte d'azur	Occitanie	Mayotte	Guyane	
				1990-2006	2007-2020
EF _C	1,30	1,30	1,30	1,30	
SF _W	0,78	0,78	0,78	0,52	
SF _P	0,68	0,68	1,22	1,00	0,68
SF _O	1,02	1,02	1,00	1,00	
SF _{s,r}	1,00	1,00	1,00	1,00	
AO	0,12	0,12	0,12	0,12	
FCAO	0,29	0,29	1,00	1,00	
Période de culture (jours)	151	151	165	115	
FE (kgCH ₄ /ha/an)	106	106	204	78	53

Tableau 131 : Surfaces de riziculture pour la métropole, la Guyane et Mayotte

	Métropole (ha)	Guyane (ha)	Mayotte (ha)	Total (ha)
1990	20 568	1 850	40	22 458
1991	21 595	3 167	40	24 802
1992	24 355	4 483	40	28 878
1993	26 405	5 800	40	32 245
1994	28 120	6 245	40	34 405
1995	26 180	6 690	40	32 910
1996	22 930	7 135	40	30 105
1997	21 570	7 581	40	29 191
1998	19 530	8 026	40	27 596
1999	18 100	8 471	40	26 611
2000	19 793	8 916	40	28 749
2001	19 052	8 937	40	28 029
2002	18 325	8 042	40	26 407
2003	18 807	6 688	40	25 535
2004	19 862	9 441	40	29 343
2005	17 544	8 530	40	26 114
2006	16 968	5 559	40	22 567
2007	17 083	4 357	40	21 480
2008	16 420	3 572	37	20 029
2009	20 532	3 299	34	23 865
2010	20 692	2 854	31	23 577
2011	21 727	1 450	28	23 205
2012	20 730	1 450	25	22 205
2013	19 008	1 500	22	20 530
2014	14 981	1 790	19	16 790
2015	14 567	1 600	16	16 183
2016	15 000	1 700	13	16 713
2017	15 310	1 824	13	17 147
2018	12 470	800	13	13 283
2019	14 337	750	13	15 100
2020	14 045	750	13	14 808

Émissions de N₂O

Les émissions de N₂O des rizières sont rapportées dans la section 3D sur les sols agricoles.

Émissions de Gaz fluorés

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

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 Évaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2^{ème} niveau de la catégorie (i.e. 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 CH₄.

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 CH₄ 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 (INRA, Instituts techniques, etc.) sur toutes les questions relatives aux émissions dans l'atmosphère de l'agriculture.

5.4.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRF 3C

Pas de recalcul cette année.

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	58	83	70	63	56	51	48	59	59	60	57	52	42	41	42	43	34	39	0
Nouveau	kt CO ₂ e	58	83	70	63	56	51	48	59	59	60	57	52	42	41	42	43	34	39	38
Différence	kt CO ₂ e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+38
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

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

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 5,2% des surfaces en riz de la France.

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.

Ces émissions de N_2O sont liées aux apports d'azote sur les sols agricoles, avec en premiers contributeurs les fertilisants minéraux, puis l'azote des animaux excrété à la pâture, l'azote des résidus de récolte, le lessivage et enfin l'azote des déjections épandues.

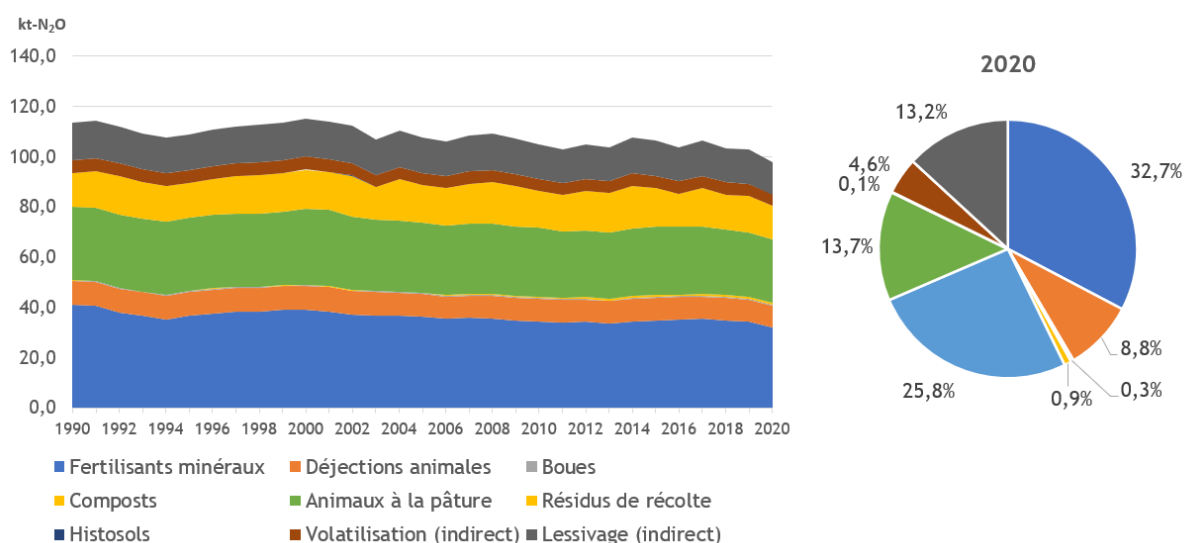


Figure 150 : Évolution et répartition des émissions de N_2O (kt) des sols agricoles (Périmètre Kyoto)

Les émissions de N_2O des sols agricoles ont diminué de 14 % sur la période 1990-2020, cette baisse se retrouvant principalement au niveau des fertilisants minéraux (- 22 % des émissions de N_2O des fertilisants minéraux entre 1990 et 2020) et de l'azote excrété par les animaux à la pâture (- 14 % des émissions de N_2O des animaux à la pâture entre 1990 et 2020). Entre 2019 et 2020, les émissions de N_2O se replient de 5 % avec un recul des émissions de fertilisants minéraux de 7 % et des émissions des résidus de récolte de 8 %. Ce recul est à rapprocher de conditions de cultures défavorables en 2019-2020 conduisant à limiter les surfaces en grandes cultures, à un repli des rendements et indirectement à une baisse des besoins en fertilisation minérale.

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 utilisés sont constants sur la période. Le seul poste présentant un facteur d'émission de N_2O variable dans le temps est celui des animaux à la pâture, le facteur d'émission des bovins, porcins et volailles étant plus élevé que celui des autres animaux. D'ailleurs, ce dernier évolue à la hausse sur la période, ces catégories plus émettrices représentant une part plus importante au sein de l'ensemble du cheptel au fil du temps. Cette hausse du facteur d'émission est cependant contrebalancée par une baisse plus importante de l'azote à la pâture (liée à la baisse des cheptels et pour certains animaux de l'azote excrété par tête), menant à une diminution de ce poste comme mentionné précédemment. Les

émissions indirectes liées à la volatilisation sont estimées à partir des émissions de NH_3 et de NO_x . Les évolutions de ces deux polluants sont décrites dans le rapport UNECE.

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, digestat, boues, compost, résidus de récolte). Une partie de l'azote est volatilisée sous des formes réactives (NH_3 , NO_x , N_2O principalement) ou non (N_2). Le N_2O est produit dans les sols au cours des processus de nitrification et de dénitrification.

La méthodologie développée dans les lignes directrices du GIEC 2006 [799] permet d'estimer les émissions d'origine anthropiques, c'est-à-dire issues de l'augmentation des quantités nettes d'azote apportées au niveau des sols gérés suite aux activités humaines

Données d'activité - Origines et quantités d'azote apportées

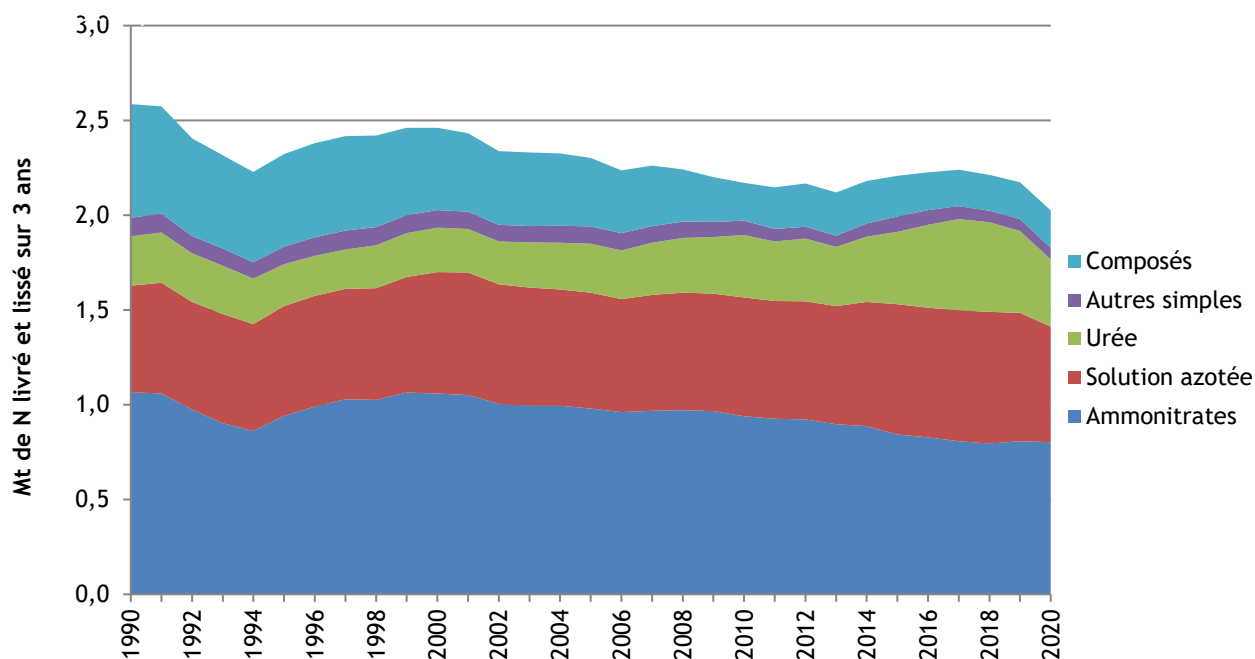
Les sols cultivés reçoivent des quantités d'azote provenant de différentes origines. Les intrants considérés comprennent des fertilisants minéraux, des résidus de culture, des déjections animales, des boues de stations de traitement des eaux usées, du compost et du digestat issu de la méthanisation. Chaque source est décrite ci-dessous.

Livraisons d'azote minéral

L'azote contenu dans les fertilisants minéraux en Métropole est déterminé à partir des quantités livrées fournies par l'UNIFA [90], syndicat chargé 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 3 années. Ces données lissées sont jugées plus représentatives de la consommation annuelle des agriculteurs car 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 1^{er} juillet au 30 juin pour les simples N).

Exemple : Estimation_apports_2010 = Moyenne (Livraison_Campagne_2008-2009 ; Livraison_Campagne_2009-2010 ; Livraison_Campagne_2010-2011)

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 avec 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.



Source CITEPA / format OMINEA - février 2022

Graph_OMINEA_3.xls/Fertilisants

Figure 151 : Moyenne lissée sur trois ans des quantités d'azote livrées issues des engrais minéraux épanchés en Métropole (Mt N)

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 :

$$\text{Intrants} = \sum_i \text{Surface}_{-i} \times \text{Fertilisation}_{-i}$$

Avec : Intrants = tonnes d'azote totales apportées pour un territoire ; Surface_{-i} = Surface de la culture i en hectares ; Fertilisation_{-i} = taux moyen de fertilisation pour la culture i en tonnes d'azote par hectare.

Les données utilisées sont tirées des sources suivantes :

- Les surfaces par type de culture sont disponibles dans la base AGRESTE [410] à partir de l'année 2000, et, faute d'autres données disponibles pour l'Outre-Mer, sont considérées constantes entre 1990 et 2000.
- Les taux de fertilisation moyens par culture sont recalculés à partir de diverses sources : l'enquête pratiques culturales de 2011 [485] fournissant des données pour la Guadeloupe et la Réunion, les données des Référentiels Technico-Economique agricole de Guyane [806] ou encore les fiches techniques fournies par la Chambre d'Agriculture de Martinique [807]. Les données 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 132. Fertilisation azotée par culture

	Fertilisation azotée
	kgN/ha
Maïs (grain et semence)	150
Riz	179
Canne à sucre	151
Pommes de terre et tubercules (DOM)	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

Faute d'autres données disponibles, les livraisons d'azote minéral dans les autres territoires d'Outre-Mer (hors Union Européenne) par hectare de surface épanable sont supposées similaires à celles des territoires d'Outre-mer inclus dans l'Union Européenne.

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 ».

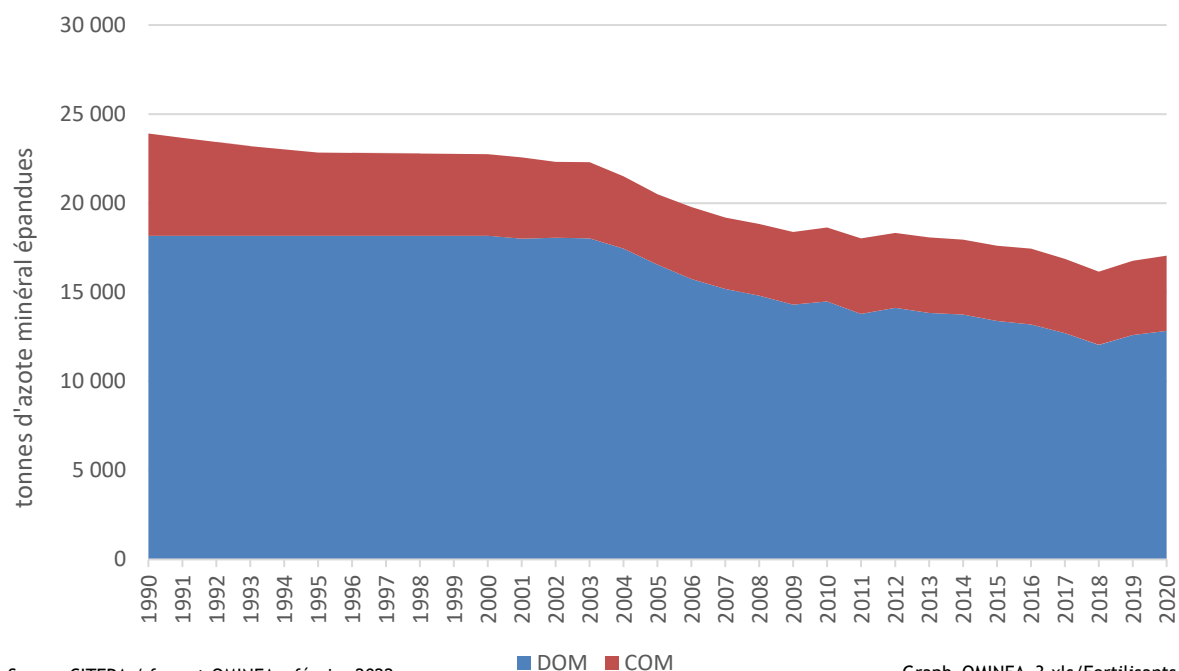


Figure 152 : Quantités d'azote issues des engrais minéraux épanchées en Outre-mer (tN)

Déjections animales : épandage et pâture

L'azote contenu dans les déjections animales produites au bâtiment et épandues par la suite est calculé à partir de nombreuses sources. Le calcul détaillé de ces quantités d'azote est décrit en section « 3B_Manure management », et correspond à la somme des paramètres « N_{épan_liquide_métha} », « N_{épan_liquide} » et « N_{épan_solide} ».

Pour rappel, l'azote à épandre issu des déjections est estimé de la façon suivante :

$$N_{\text{épandu}} = N_{\text{ex_bâtiment}} + N_{\text{paille}} - (N\text{-NH}_3_{\text{bâtiment}} + N\text{-NH}_3_{\text{stockage}} + N\text{-NH}_3_{\text{Pré-stockage (méthanisation)}} + N\text{-NH}_3_{\text{Stockage (méthanisation)}} + N\text{-NO}_{\text{stockage}} + N_2 + N\text{-N}_2\text{O}_{\text{direct_bâtiment}} + N_{\text{lessivé}} + N_{\text{résorbé_nitri}}) + N_{\text{déjections_importées}}$$

Avec $N_{\text{résorbé_nitri}}$: l'azote résorbé par nitrification/dénitrification ; $N_{\text{déjections_importées}}$: l'azote issu des déjections importées des pays frontaliers (voir ci-dessous).

Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs prises par ces différents paramètres au périmètre Kyoto :

Tableau 133 : Récapitulatif du devenir de l'azote pour estimer les quantités épandues (Périmètre Kyoto)

	Azote total excrété au bâtiment	Azote apporté par la paille	Azote volatilisé en NH ₃ et NO _x	Azote volatilisé en N ₂ O (émissions directes)	Azote lessivé	Azote volatilisé en N ₂	Azote résorbé par nitrification /dénitrifica tion	Azote des déjections importées
	tN	tN	tN	tN	tN	tN	tN	tN
1990	937 685	29 815	214 132	3 571	41 077	103 047	0	1 817
1991	928 354	29 175	212 145	3 501	40 685	102 068	0	1 817
1992	921 428	28 309	210 887	3 424	40 225	100 923	0	1 239
1993	919 840	27 911	210 731	3 390	40 141	100 715	0	2 064
1994	925 451	27 879	212 020	3 397	40 424	101 426	0	2 064
1995	929 806	28 037	212 744	3 402	40 610	101 895	0	2 477
1996	932 682	28 052	213 411	3 389	40 596	101 864	0	2 147
1997	927 246	27 723	212 152	3 344	40 343	101 233	0	2 395
1998	926 058	27 611	211 517	3 318	40 151	100 755	743	3 716
1999	922 093	27 640	210 190	3 303	39 729	99 701	1 485	3 468
2000	941 549	29 165	213 821	3 437	40 669	102 051	2 228	4 129
2001	934 355	29 038	211 959	3 410	40 490	101 595	2 971	3 881
2002	919 268	28 216	208 463	3 344	39 567	99 288	3 713	5 826
2003	896 842	27 256	203 228	3 256	38 548	96 732	4 456	7 876
2004	881 946	26 961	199 414	3 223	37 704	94 614	5 953	7 666
2005	875 780	26 921	197 445	3 225	37 416	93 888	7 449	6 587
2006	870 876	27 093	196 122	3 240	37 189	93 315	7 934	7 469
2007	877 706	27 372	197 562	3 272	37 450	93 970	8 418	7 779
2008	886 647	28 189	199 020	3 331	37 855	94 982	9 010	16 524
2009	873 195	27 745	195 780	3 283	37 522	94 137	9 602	16 038
2010	869 461	27 416	194 873	3 263	37 507	94 092	10 194	17 403
2011	864 675	27 731	193 892	3 248	37 290	93 546	10 353	21 996
2012	856 223	27 373	191 634	3 216	37 133	93 143	10 512	20 849
2013	855 763	27 244	190 668	3 206	37 329	93 624	10 671	20 893
2014	862 053	27 266	191 947	3 229	37 718	94 594	11 031	23 199
2015	864 068	27 352	192 033	3 231	37 917	95 086	11 391	23 199
2016	855 834	27 261	189 695	3 202	37 444	93 899	11 391	23 499
2017	843 449	26 818	186 784	3 137	36 772	92 212	11 391	26 299
2018	836 298	26 645	185 642	3 095	36 096	90 522	11 391	25 299
2019	821 748	26 067	182 541	3 022	35 257	88 418	11 391	26 299
2020	812 957	25 837	179 959	2 966	34 724	87 074	11 391	26 299

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 « 3B_Manure management », et correspond au paramètre « $N_{\text{ex_p\hat{a}ture}}$ ».

Imports d'azote des pays frontaliers

Les quantités d'azote contenues dans les déjections importées provenant des pays frontaliers à la métropole (Belgique, Luxembourg, Pays-Bas, Italie et autres pays frontaliers) sont recalculées différemment selon les périodes :

- Pour l'année 1990 : une hypothèse de stabilité a été retenue entre 1990 et 1991.
- De 1991 à 2001 : un rapport du MEDDE de 2002 [591] fournit des données d'importations en provenance d'Italie, des Pays-Bas, de la Belgique-Luxembourg et « Autres », et d'exportations (totales vers tous pays) de déjections pour la période 1991-2001. Les données sont fournies sous la forme de graphique, en Mg/an. Le rapport du MEDDE [591] et le Voortgangsrapport mestbank [592] de 2003 indiquant que la majorité des déjections sont d'origine avicole, le ratio 1 Mg de déjection égal 29,489 kg N [592] - a été utilisé pour convertir les données de masses de déjections en quantités d'azote importées.
- A partir de 2002 : 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 coördinatiecentrum Mestverwerking - « centre de coordination flamand du traitement du fumier ») [1195].

Résidus de culture

Les quantités d'azote retournées au sol par les résidus de cultures sont calculées selon la méthodologie proposée par le GIEC 2006 [799], 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 2006.

La méthode de calcul des quantités d'azote issues des résidus est détaillée en annexe. Cette méthode est appliquée uniquement pour la métropole. Pour les territoires d'Outre-mer, faute de données disponibles, une estimation de l'azote des résidus est faite à partir du ratio « azote des résidus/surfaces cultivées » calculé pour la métropole, appliqué aux surfaces des territoires d'Outre-mer.

Épandage des boues

L'azote apporté par l'épandage des boues de traitement des eaux usées est estimé à partir des quantités de boues des stations d'épuration (en MS) épandues en France, tirées de la base de données nationale des eaux résiduaires urbaines [511], et de la quantité d'azote moyenne contenue dans les boues en France, estimée à environ 4,3% de N par tonne de matière sèche [1061] proche de la valeur par défaut (4,5 %) rapportée dans EMEP [441]. La méthodologie employée est décrite dans la section sur les déchets « 5D_Waster_water_treatment ». Il est supposé qu'il n'y a pas de boues épandues en Outre-mer.

Épandage des composts

L'azote contenu dans les déchets compostés est calculé à partir des quantités de déchets traités par compostage industriel et domestique (déchets verts, ordures ménagères, biodéchets, boues etc.),

disponibles dans les enquêtes bisannuelles de l'ADEME [32], et de la composition des composts en azote total, issue d'une publication de l'ADEME [537]. La méthodologie employée est décrite dans la section sur les déchets « 5B_Biological_treatments ».

Épandage du digestat

L'azote apporté par l'épandage de digestat issu de la méthanisation est estimé à partir des quantités de digestat épandues (en Matière Brute) en France métropolitaine. Les méthaniseurs actuellement en fonctionnement sont principalement basés sur la codigestion d'effluents d'élevage avec d'autres substrats organiques.

Ainsi, 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...).

Mode de calcul des quantités et du type d'intrants méthanisés

La quantité totale d'effluents d'élevage méthanisés est tout d'abord estimée sur la base du nombre de méthaniseurs agricoles en activité par mode de gestion (centralisé, à la ferme) en mobilisant la base de données SINOE (<https://www.sinoe.org/>). Les tonnages d'intrants animaux moyens par méthaniseurs sont ensuite calculés à l'échelle régionale sur la base des données des différents observatoires de la méthanisation lorsqu'ils existent (Bretagne, Pays de la Loire, Nouvelle Aquitaine...) ou sur la base d'une communication confidentielle de l'ADEME pour l'année 2013. Ainsi pour une année i , une région r et un type de méthaniseur t (centralisé / à la ferme) on obtient l'équation suivante

$$\text{Effluents méthanisés}_{i,t,r} = \text{Nombre de méthaniseurs}_{i,t,r} * \text{Tonnages intrants animaux moyens}_{i,t,r}$$

La répartition des effluents d'élevages en fonction de l'espèce et du type (fumier, lisier) est réalisée sur la base d'une compilation de diverses sources (données constructeur, déclarations ICPE, observatoires de la méthanisation, AILE, chambres d'agricultures...) méthaniseur par méthaniseur. Les données sont ensuite consolidées pour retrouver la répartition régionale des effluents méthanisés. Des informations complémentaires sont collectées dont notamment la part d'effluents d'élevages dans le total des intrants méthanisés. Par différence il est ainsi possible de retrouver la part d'intrants non-animaux dans la ration. En ajoutant les intrants des méthaniseurs alimentés sans déjections animales ($\text{Intrants}_{100\% \text{ non élevage}}$) on obtient la quantité d'intrants totaux :

$$\text{Intrants totaux}_{i,t,r} = \frac{\text{Effluents méthanisés}_{i,t,r}}{\% \text{ d'effluents animaux dans la ration}_{i,t,r}} + \text{Intrants}_{100\% \text{ non élevage}}_{i,t,r}$$

Pour la fraction hors effluents d'élevage, la répartition moyenne des quantités entrantes donnée dans le tableau ci-dessous par grande catégorie d'intrant est ensuite appliquée.

Tableau 134 : Ration moyenne d'un méthaniseur centralisé et à la ferme [1058]

Catégorie d'intrant	Centralisé	A la ferme
Effluents	41%	78%
DMA	6%	5%
Déchets des IAA	31%	2%
Cultures dédiées	2%	9%
CIVE	1%	4%
Assainissement	21%	2%
Résidus de culture	0%	0%

Calcul des émissions à l'épandage des digestats

Pour le calcul des émissions à l'épandage des effluents animaux, les quantités estimées d'effluents méthanisés sont intégrées en tant que mode de gestion des déjections animales dans le module de calcul PACRETE. Les émissions liées aux animaux dont les déjections sont méthanisées sont estimées selon la méthode EMEP 2019, à savoir : comptabilisation des émissions de NH_3 au bâtiment identique à celle des déjections non méthanisées, puis estimation des émissions de NH_3 du pré-stockage et post stockage (rapportage dans le secteur Déchets), puis émissions de NH_3 de l'épandage avec les FE des effluents liquides faute de facteur d'émission spécifique digestat disponible. Le calcul détaillé de ces quantités d'azote est décrit en section « 3B_Manure management ».

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 2019 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 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 135 : Principales teneurs en azote des intrants méthanisés

Catégorie d'intrant	Description	Teneur en azote (kg N/kgMB)	Source
DMA	Déchets ménagers et assimilés (déchets verts, autres déchets organiques des collectivités)	0.00570	EMEP 2019
Déchets des IAA	Déchets d'abattoirs et industries de transformation de la viande, des fruits et légumes et du lait	0.00510	EMEP 2019
Cultures dédiées	Moyenne des valeurs ensilage de maïs et ensilage d'herbe	0.0070	EMEP 2019
CIVE	Cultures intermédiaires à vocation énergétique	0.0070	EMEP 2019
Assainissement	Boues issues de station d'épuration	0.00220	Hypothèse nationale sur les types de boues et leur teneur
Résidus de cultures	Paille	0.00510	EMEP 2019

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, aléas techniques... Des recherches complémentaires pourraient être poursuivies pour acquérir des références sur plusieurs années et pour les divers modèles de méthanisation.

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/omine/>.

La méthode appliquée correspond au rang GIEC 1 pour les émissions directes et indirectes de N₂O. 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 NH₃ et de NO_x sont fournies ici pour faciliter la compréhension du calcul des émissions indirectes de N₂O liées à la redéposition.

Émissions de CO₂

Aucune émission de CO₂ n'est prise en compte pour le secteur 3.D conformément aux méthodologies des lignes directrices du GIEC 2006 [799]. Toutefois, l'hydrolyse de l'urée dans les sols et la décarbonatation des amendements basiques conduisent à des émissions de CO₂ 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 N₂O

L'essentiel de la méthodologie et des facteurs d'émissions sont issus des lignes directrices du GIEC 2006 [799]. Sont distinguées :

- les émissions directes de N₂O suite à l'apport d'azote aux cultures ;
- les émissions indirectes de N₂O liées à la volatilisation de l'azote sous diverses formes réactives (NH₃ et NO_x principalement) et la déposition de ces dernières et de leurs produits sur les sols ou les eaux de surface ;
- les émissions indirectes de N₂O 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 entraînant des émissions de N₂O.

Les émissions directes

Les émissions directes de N₂O exprimées en kg de N-N₂O sont calculées selon l'équation 11.1 du GIEC 2006 :

$$N-N_2O_{\text{directes}} = N-N_2O_{N_{\text{entrées}}} + N-N_2O_{SO} + N-N_2O_{PPP}$$

Avec : $N-N_2O_{N_{\text{entrées}}}$ = émissions de N-N₂O imputables aux entrées de N sur les sols (kg N-N₂O/an) ; $N-N_2O_{SO}$ = émissions de N-N₂O imputables aux sols organiques gérés (kg N-N₂O/an) ; $N-N_2O_{PPP}$ = émissions de N-N₂O imputables aux entrées d'urine et de fèces (kg N-N₂O/an).

Apports d'azote : Paramètre $N-N_2O_{N_{\text{entrées}}}$

Le paramètre $N-N_2O_{N_{\text{entrées}}}$ concerne les émissions directes liées à l'apport d'engrais minéraux, à l'épandage des déjections animales, des boues et des composts. 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.

$$N-N_2O_{N_{\text{entrées}}} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{RR} + F_{MOS}) \times FE_1$$

Avec : F_{SN} = quantité annuelle de N des engrais synthétiques appliquée aux sols (kgN/an) ; F_{ON} = quantité annuelle de fumier animal, compost, boues et autres ajouts organiques appliquée aux sols (kgN/an) ; F_{RR} = 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 en raison de changements d'affectation des terres ou de gestion (kgN/an) ; FE_1 = facteur d'émission des émissions de N₂O dues aux entrées de N (kgN-N₂O/kgN).

Les paramètres F_{SN} , F_{ON} et F_{RR} ont été présentés plus haut, en section « **Données d'activité - Origines et quantités d'azote apportées** ». Le paramètre F_{ON} couvre à la fois les imports d'azote, l'épandage des déjections, des boues, des composts et du digestat.

Le paramètre F_{MOS} est à l'heure actuelle négligé car les terres cultivées restant terres cultivées (cultures) présentent un puits de carbone au niveau des sols. En revanche, pour les terres converties en terres cultivées, l'émission de N_2O liée à la minéralisation est comptabilisée dans le secteur UTCATF.

Le facteur d'émission utilisé est celui proposé par défaut par le GIEC 2006 : **0,01 kg N- N_2O /kg N**.

Sols organiques : Paramètre N- N_2O_{SO}

Le paramètre N- N_2O_{SO} concerne les émissions directes liées aux sols organiques gérés (ou histosols cultivés). En France, quatre types de sols organiques sont considérés :

- les sols de cultures organiques en climat tempéré (Métropole)
- les prairies organiques en climat tempéré (Métropole),
- les sols de cultures organiques en climat tropical (Guyane),
- les prairies en climat tropical (Guyane).

L'équation du GIEC 2006 est adaptée de la façon suivante :

$$N - N_{2O_{SO}} = \sum_{i,j} F_{SO_{i,j}} \times FE_{2CP_{i,j}}$$

Avec :

- F_{SO} = la superficie annuelle des sols organiques de type i gérés dans la zone climatique j (ha) ;
- FE_{2CP} = le facteur d'émission pour les sols organiques de type i gérés dans la zone climatique j (kg N- N_2O /ha) ;
- i le type de sol (culture ou prairie)
- j le type de climat (tempéré en Métropole, tropical en Guyane)

Les surfaces d'histosols cultivés sont obtenues de manière spatialement explicite en utilisant plusieurs jeux de données cartographiques pertinents, que ce soit pour la métropole (Peatland map of Europe (Tanneberger et al., 2017, [1202]) qui se base sur la BDGSF l'Inra [719] pour la France ; carte de l'humidité des sols (couche water and wetness) des High Resolution Layers [1203]) et pour la Guyane [720] pour la Guyane) croisées avec des cartes d'occupation des sols (carte des îlots agricoles du Registre Parcellaire Graphique [1204] pour la métropole, Corine Land Cover pour la Guyane).

Les facteurs d'émission 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 136. Facteurs d'émission des histosols cultivés - kg N- N_2O /(ha-yr) - source : IPCC (2013)

	Cultures	Prairies	Moyen
France Métropolitaine	13,0	1,6	3,4
Guyane	5,0	5,0	5,0

Pâturage : Paramètre N- N_2O_{PPP}

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 2006 :

$$N - N_{2O_{PPP}} = F_{PPP,BVS} \times FE_{3PPP,BVS} + F_{PPP,MA} \times FE_{3PPP,MA}$$

Avec : $F_{PPP,BVS}$ = quantité annuelle d'azote des urines et fèces déposée par les bovins, volailles, suidés, au pâturage (kg N/an) ; $FE_{3PPP,BVS}$ = 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) ; $FE_{3PPP,MA}$ = facteur d'émission pour les moutons et autres animaux au pâturage (kg N-N₂O/kg N).

Les paramètres $F_{PPP,BVS}$ et $F_{PPP,MA}$ ont été présentés plus haut, en section « Données d'activité - Origines et quantités d'azote apportées ».

Les facteurs d'émission utilisés sont ceux proposés par défaut par le GIEC 2006, à savoir :

- pour les bovins, volailles et suidés : 0,02 kg N-N₂O/ kg N,
- pour les moutons et autres animaux : 0,01 kg N-N₂O/ kg N.

Émissions de N₂O directes totales

Les émissions de N-N₂O directes sont converties ensuite en N₂O de la façon suivante :

$$N_2O_{directes} = N-N_2O_{directes} \times 44/28$$

Les émissions indirectes liées à la volatilisation

Les émissions indirectes liées à la volatilisation sont calculées selon l'équation 11.9 des lignes directrices du GIEC 2006 [799] :

$$N-N_2O_{DAT} = [(F_{SN} \times \text{Frac}_{GAZE}) + ((F_{ON} + F_{PPP}) \times \text{Frac}_{GAZM})] \times FE_4$$

Avec : Frac_{GAZE} = fraction de N d'engrais synthétique volatilisé sous forme de NH₃ et de NO_x (kg N volatilisé/kg N appliqué) ; Frac_{GAZM} = fraction de N organique (engrais et pâture) volatilisé sous forme de NH₃ et de NO_x (kg N volatilisé/kg N appliqué) ; FE_4 = facteur d'émission de N₂O dues au dépôt atmosphérique de N sur les sols et les surfaces aquatiques (kg N-N₂O/ (kg N-NH₃ + N-NO_x volatilisé)).

Plutôt que d'utiliser les fractions par défaut proposées par le GIEC, les émissions de NH₃ et de NO_x relatives à l'application d'engrais minéraux, de déjections animales, de boues, de compost et celles liées aux animaux à la pâture, sont calculées conformément à la méthode EMEP/EAA 2019 [1060] détaillée en sections « Émissions de NH₃ » et « Émissions de NO_x » plus bas.

On a alors :

$$\text{Frac}_{GAZE} = (N-NH_{3_SN} + N-NO_{x_SN}) / F_{SN}$$

$$\text{Frac}_{GAZd\acute{e}jections} = (N-NH_{3_d\acute{e}jections} + N-NO_{x_d\acute{e}jections}) / F_{d\acute{e}jections}$$

$$\text{Frac}_{GAZboues} = (N-NH_{3_boues} + N-NO_{x_boues}) / F_{boues}$$

$$\text{Frac}_{GAZcompost} = (N-NH_{3_compost} + N-NO_{x_compost}) / F_{compost}$$

$$\text{Frac}_{GAZp\acute{a}ture} = (N-NH_{3_p\acute{a}ture} + N-NO_{x_p\acute{a}ture}) / F_{p\acute{a}ture}$$

Ces fractions recalculées varient dans le temps. À titre indicatif, les valeurs sur la période 1990-2020 pour la Métropole et les DOM (correspondant au périmètre Kyoto) sont mentionnées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 137 : Fractions de l'azote épandu qui se volatilise sous forme de NH₃ et de NO_x, utilisées dans le calcul des émissions de N₂O des sols

Fraction	Description	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
FraC _{GAZE}	Azote minéral épandu	6,0%	6,0%	5,9%	6,1%	6,3%	6,4%	6,1%
FraC _{GAZdjections}	Déjections animales épandues, produites et importées	14,6%	14,7%	14,6%	14,6%	14,7%	14,5%	14,7%
FraC _{GAZpâtur}	Déjections des animaux à la pâture	8,6%	8,6%	8,7%	8,7%	8,7%	8,7%	8,7%
FraC _{GAZboues}	Boues épandues	11,1%	11,1%	11,1%	11,1%	11,1%	11,1%	11,1%
FraC _{GAZcomposts}	Composts épandus	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%
FraC _{GAZdigestats}	Digestats épandus	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%

Le facteur d'émission de N₂O dues au dépôt atmosphérique de N sur les sols et les surfaces aquatiques utilisé est celui proposé par défaut par le GIEC 2006 : **0,01 kg N-N₂O/kg N volatilisé.**

Les émissions de N-N₂O indirectes liées au dépôt atmosphérique sont converties ensuite en N₂O de la façon suivante :

$$N_2O_{DAT} = N-N_2O_{DAT} \times 44/28$$

Les émissions indirectes liées au lessivage

Les émissions indirectes liées à la lixiviation/écoulements sont calculées selon l'équation 11.10 des lignes directrices du GIEC 2006 [799] :

$$N-N_2O_L = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PPP} + F_{RR} + F_{MOS}) \times \text{Frac}_{Lixi} \times FE_5$$

Avec : Frac_{Lixi} = fraction de tout le N minéralisé/ajouté aux sols gérés dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements ; FE_5 = facteur d'émission de N₂O dues à la lixiviation et aux écoulements (kg N-N₂O/kg N lessivé et écoulé).

Pour rappel, le paramètre F_{MOS} est à l'heure actuelle négligé car les terres cultivées restant terres cultivées (cultures) présentent un puits de carbone au niveau des sols. En revanche, pour les terres converties en terres cultivées, l'émission de N₂O liée à la minéralisation est comptabilisée dans le secteur UTCATF.

Le paramètre Frac_{Lixi} est estimé en affinant la valeur par défaut issue du GIEC 2006 qui est de **0,3 kg N_{lessivé}/kg N_{apporté}**, à partir de la méthodologie proposée par le JRC. La fraction proposée par le GIEC constitue une hypothèse majorante car cette valeur ne devrait s'appliquer qu'aux régions où les capacités en rétention d'eau sont excédées. Dans l'inventaire national, le paramètre Frac_{WET} fourni par le JRC [1059] estime les zones qui se trouvent effectivement dans une situation de lessivage : cela concerne 75,4% des régions françaises (cultures et prairies). De plus, le paramètre Frac_{IRR} indique la part de surfaces irriguées en France, il est estimé à partir des enquêtes pratiques culturales 2011 et 2017 [485] : 8,3% d'irrigation en moyenne. Cela conduit ainsi au paramètre $\text{Frac}_{Lixi_ajusté}$ suivant :

$$\text{Frac}_{Lixi_ajusté} = (\text{Frac}_{IRR} + \text{Frac}_{WET}) \times \text{Frac}_{Lixi_initial} = (0,754+0,083) \times 0,3 = 0,25 \text{ kg N}_{lessivé}/\text{kg N}_{apporté}$$

Avec : Frac_{IRR} = fraction de la surface irriguée ; Frac_{WET} = fraction de la zone où la pluviométrie dépasse l'évapotranspiration

Le facteur d'émission de N₂O dues à la lixiviation et aux écoulements (FE_5) utilisé est celui proposé par défaut par le GIEC 2006 dans le tableau 11.3 : **0,0075 kg N-N₂O/kg N_{lessivé}.**

Les émissions de N-N₂O indirectes liées dues à la lixiviation et aux écoulements sont converties ensuite en N₂O de la façon suivante :

$$N_2O_L = N-N_2O_L \times 44/28$$

Récapitulatif des sources d'azote et émissions de N₂O des sols

Les tableaux ci-dessous récapitulent les quantités d'azote apportées aux sols par source en Métropole, au sein des territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE et au sein des territoire d'Outre-mer non inclus dans l'UE, sur la période 1990-2020.

Tableau 138: Azote apportés aux sols cultivés par source en Métropole (tonnes d'azote)

	Engrais minéraux	Déjections *	Pâturage	Boues	Compost	Résidus	Digestat
1990	2 585 531	600 763	983 457	16 520	2 125	833 797	70
1991	2 573 824	594 294	973 929	17 404	2 178	914 384	70
1992	2 405 223	589 115	970 379	18 336	2 232	975 253	70
1993	2 314 802	588 613	965 102	19 318	2 288	931 248	70
1994	2 228 047	591 977	968 016	20 352	2 734	909 546	70
1995	2 322 412	595 641	974 998	21 441	3 215	862 035	70
1996	2 379 336	597 157	978 400	22 876	4 102	900 244	70
1997	2 416 246	593 882	971 007	24 310	4 911	943 554	70
1998	2 419 426	594 499	966 259	25 744	5 712	983 739	70
1999	2 461 287	592 593	968 484	24 130	7 989	989 349	70
2000	2 460 034	605 924	999 302	22 516	8 774	994 769	70
2001	2 431 488	600 241	1 006 514	20 902	9 877	944 227	70
2002	2 337 830	592 396	978 088	20 070	11 104	1 017 482	70
2003	2 331 374	579 240	949 654	19 237	12 436	802 353	79
2004	2 326 416	569 265	932 774	18 405	13 608	1 050 540	79
2005	2 301 779	563 802	923 828	18 587	14 767	946 843	102
2006	2 235 824	561 625	924 769	18 769	16 286	934 175	102
2007	2 262 135	566 609	930 714	18 951	17 004	1 004 858	113
2008	2 240 721	581 468	927 732	19 133	17 646	1 051 975	431
2009	2 201 452	571 130	923 798	19 315	18 206	1 007 125	661
2010	2 170 509	569 096	918 547	23 293	18 581	928 738	1 027
2011	2 145 885	570 768	886 131	21 801	22 600	905 612	1 847
2012	2 167 047	563 376	877 989	21 805	26 622	997 590	3 709
2013	2 119 894	563 197	884 148	18 951	28 425	978 105	5 297
2014	2 180 973	568 759	893 755	21 112	30 244	1 078 292	7 177
2015	2 206 777	569 769	899 409	26 311	30 559	969 829	7 365
2016	2 225 515	565 884	896 731	21 805	30 861	820 615	8 617
2017	2 238 884	561 265	885 727	18 195	32 485	974 859	10 426
2018	2 212 274	556 454	869 213	20 241	34 142	874 229	11 473
2019	2 173 408	548 473	853 164	21 085	34 144	916 709	14 323
2020	2 024 905	544 042	836 706	21 168	34 147	846 326	21 113

*produites et importées

Tableau 139: 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	18 176	6 727	4 429	0	12	6 172
1991	18 176	6 653	4 397	0	12	6 850
1992	18 176	6 402	4 150	0	12	7 451
1993	18 176	6 227	4 080	0	13	7 574
1994	18 176	6 150	4 119	0	15	7 426
1995	18 176	6 028	4 084	0	18	6 972
1996	18 176	6 464	4 619	0	23	7 151
1997	18 176	6 409	4 691	0	27	7 366
1998	18 176	6 403	4 680	0	32	7 678
1999	18 176	6 200	4 391	0	45	7 833
2000	18 176	6 712	4 880	0	49	7 977
2001	18 007	6 609	5 081	0	56	7 518
2002	18 069	6 539	4 923	0	62	7 934
2003	18 023	6 515	4 819	0	70	6 180
2004	17 454	6 399	4 560	0	77	8 261
2005	16 543	6 062	4 437	0	116	7 387
2006	15 748	6 013	4 527	0	162	7 689
2007	15 182	5 577	4 030	0	189	8 114
2008	14 811	5 694	4 094	0	216	8 249
2009	14 309	5 525	3 989	0	291	7 696
2010	14 482	5 254	3 833	0	362	7 064
2011	13 789	5 306	3 701	0	377	6 614
2012	14 124	5 432	3 809	0	391	7 295
2013	13 840	5 205	3 681	0	468	6 999
2014	13 746	5 241	3 708	0	545	7 037
2015	13 383	5 192	3 715	0	537	6 146
2016	13 186	5 081	3 750	0	528	5 152
2017	12 699	5 005	3 780	0	548	6 063
2018	12 048	5 042	3 718	0	567	5 373
2019	12 592	5 012	3 675	0	567	5 734
2020	12 822	4 938	3 431	0	567	5 399

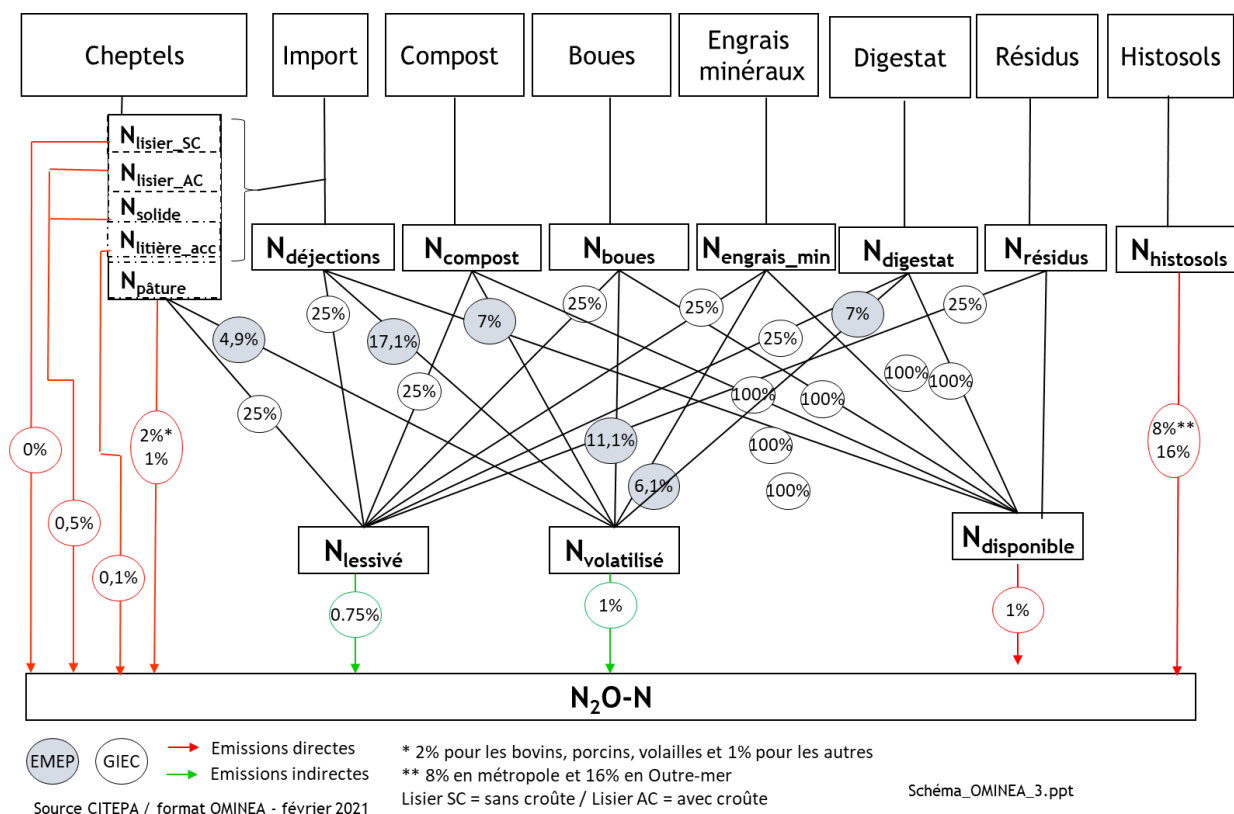
Tableau 140: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d’Outre-mer non inclus dans l’UE (tonnes d’azote)

	Engrais minéraux	Déjections	Pâture	Boues	Compost	Résidus
1990	5 735	4 213	3 886	0	0	2 706
1991	5 494	4 268	3 928	0	0	2 940
1992	5 259	4 164	3 834	0	0	3 131
1993	5 030	4 066	3 668	0	0	3 116
1994	4 848	3 968	3 487	0	0	3 007
1995	4 668	4 209	3 714	0	0	2 778
1996	4 648	4 151	3 723	0	0	2 841
1997	4 628	4 102	3 733	0	0	2 919
1998	4 608	4 057	3 726	0	0	3 034
1999	4 588	4 063	3 818	0	0	3 087
2000	4 568	3 865	3 532	0	0	3 136
2001	4 559	3 816	3 633	0	0	3 003
2002	4 245	3 795	3 610	0	0	2 938
2003	4 282	3 759	3 561	0	0	2 328
2004	4 054	3 792	3 598	0	0	3 026
2005	3 958	3 533	3 196	0	0	2 752
2006	4 039	3 189	2 789	0	0	2 714
2007	4 015	3 247	2 847	0	0	2 917
2008	4 018	3 310	2 841	0	0	2 993
2009	4 082	3 207	2 803	0	0	2 863
2010	4 147	3 141	2 760	0	0	2 633
2011	4 226	3 116	2 628	0	0	2 562
2012	4 212	2 916	2 586	0	0	2 810
2013	4 237	2 859	2 568	0	0	2 744
2014	4 202	2 836	2 538	0	0	3 014
2015	4 230	2 805	2 516	0	0	2 714
2016	4 265	2 720	2 351	0	0	2 292
2017	4 175	2 669	2 318	0	0	2 726
2018	4 115	2 662	2 259	0	0	2 487
2019	4 181	2 852	2 501	0	0	2 607

2020	4 229	2 745	2 336	0	0	2 430
------	-------	-------	-------	---	---	-------

La figure ci-dessous illustre la méthodologie globale mise en place pour estimer les émissions de N₂O des sols agricoles.

Figure 153 : Schéma de la méthodologie d'estimation des émissions pour le N₂O des sols



Émissions de CH₄

Aucune émission de CH₄ n'est prise en compte pour la section 3D conformément aux méthodologies des lignes directrices du GIEC, les émissions de CH₄ des rizières sont traitées dans la section 3C.

Émissions de gaz fluorés

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

Émissions de NO_x

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 N₂O.

Les émissions de NO_x sont déterminées de la façon suivante :

$$N-NO = \sum_i (F_{SN-i} \times FE_i) + (F_{ON} + F_{PPP}) \times FE_{org}$$

Avec : F_{SN-i} = quantité annuelle de N d'engrais synthétique i appliquée aux sols (kgN/an) ; FE_i = facteur d'émission de NO associé à l'engrais i (kg N-NO/kg N) ; F_{ON} : quantité annuelle de fumier animal, compost, digestat, boues et autres ajouts organiques appliquée aux sols (kgN/an) ; FE_{org} = facteur d'émission de NO associé aux apports organiques (kg N-NO/kg N).

Les paramètres F_{ON} et F_{PPP} sont décrits dans la section « **Données d'activité - Origines et quantités d'azote apportées** ». Le paramètre F_{ON} couvre à la fois les imports d'azote, l'épandage des déjections (produites et importées), les boues, les digestats et les composts.

Le paramètre F_{SN_i} désigne les quantités d'azote apportées par type d'engrais synthétique. Les livraisons UNIFA [90] permettent de distinguer différentes catégories d'engrais : ammonitrates, sulfate d'ammoniaque, cyanamide calcique et nitrate de chaux, urée, solutions azotées, ammoniac anhydre, autres simples et autres composés.

Les facteurs d'émissions utilisés proviennent d'une publication de l'IFA-FAO [706] qui permet de distinguer les facteurs d'émission en fonction de la forme d'engrais apporté.

La publication de l'IFA-FAO [706] distingue des facteurs spécifiques, exprimés en pourcentage d'azote épandu volatilisé en N-NO reportés dans le tableau ci-dessous en kgN-NO / kg N épandu.

Type d'engrais	Facteur d'émission (en kgN-NO / kg N épandu)
Ammonitrates et ammoniac anhydre	0,005
Sulfate d'ammoniaque, urée et solution azotée	0,006
Cyanamide calcique, nitrate de chaux, autres simples et composés	0,008
Apports organiques	0,004

Les émissions sont converties en équivalent NO_2 de la façon suivante :

$$NO_2 = N-NO \times 46/14$$

Le guide EMEP propose quant-à-lui une méthodologie 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 kgN-NO / kg N ou 1,2 % de l'azote épandu). Cette valeur proposée par EMEP est nettement supérieure (de + 118 %) à la valeur retenue par Stehfest et Bouwman (0,55 %). Cette différence s'explique car Stehfest et Bouwman cherchent à isoler les émissions anthropiques de NO : cela correspond dans les expérimentations aux émissions de la parcelle fertilisée moins celles de la parcelle témoin exprimée en pourcentage de N appliqué. Dans la publication, pour un même pixel, il s'agit des émissions prédites par le modèle selon les données d'entrée moins les émissions du même pixel sans fertilisation azotée (minérale ou organique) toutes choses égales par ailleurs. On suppose ainsi que l'émission de la parcelle témoin est équivalente à une émission naturelle. En effet, les émissions « naturelles » de NO_x ne devraient pas faire partie de l'inventaire national. Le facteur d'émission proposé par EMEP, calculé comme le rapport entre l'azote épandu (engrais minéraux et organiques) et le total des émissions de NO des surfaces, semble bien inclure les émissions naturelles.

Les valeurs que nous utilisons (entre 0,4 % et 0,8 %), issues de l'IFA-FAO [706], sont proches de la valeur suggérée par la publication de Stehfest et Bouwman [1194] à l'échelle mondiale (0,55 %) pour le secteur des cultures (hors légumineuses) et des prairies fertilisées (hors pâture), conduisant *in fine* à un facteur d'émission moyen pour la France compris entre 0,53 % et 0,56 % selon les années. En effet, Stehfest et Bouwman s'appuient en partie sur le même jeu de données que celui de l'IFA-FAO.

Afin de centrer le calcul sur les émissions anthropiques et compte-tenu de l'intérêt de distinguer les formes d'engrais nous considérons que la méthode de rang 2 que nous appliquons est plus appropriée que la méthode de rang 1 proposée par EMEP.

Émissions de NH_3

Les émissions de NH_3 liées aux sols agricoles sont calculées de la façon suivante :

$$NH_3 = \sum_i (F_{SN_i} \times FE_i) + NH_3_{\text{Epandage}} + NH_3_{\text{P\^a}ture} + F_{\text{boues}} \times FE_{\text{boues}} + F_{\text{compost}} \times FE_{\text{compost}} + F_{\text{digestat}} \times FE_{\text{digestat}} + F_{\text{import_d\^e}jections} \times FE_{\text{d\^e}jections}$$

Avec: $F_{SN,i}$ = quantité annuelle de N d'engrais synthétique i appliquée aux sols (kgN/an) ; FE_i = facteur d'émission de NH_3 associé à l'engrais i (kg NH_3 /kg N) ; $NH_{3\text{ Epandage}}$ = émissions de NH_3 liées à l'épandage des déjections ; $NH_{3\text{ Pâturage}}$ = 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) ; $F_{import\text{ déjections}}$ = quantité annuelle de N des déjections importées appliquée aux sols (kgN/an) ; $FE_{déjections}$ = facteur d'émission de NH_3 associé aux déjections (kg NH_3 /kg N).

Nous allons détailler ci-dessous l'estimation des différents termes de l'équation.

Engrais synthétiques

Les quantités d'azote apportées en Métropole fournies par l'UNIFA [90] distinguent différentes catégories d'engrais : ammonitrates, sulphate d'ammoniaque, cyanamide calcique et nitrate de chaux, urée, solutions azotées, ammoniac anhydre, autres simples et autres composés.

Le guide méthodologique EMEP 2016 [900] propose des facteurs d'émission par défaut pour chacun des types de fertilisants minéraux, par grande zone climatique, en distinguant les sols à pH inférieur ou égal à 7, des sols à pH supérieur à 7.

En Métropole, la majeure partie des régions est en zone « froide » (température moyenne $<15^{\circ}\text{C}$) à l'exception de la Corse et de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur pour certaines années (climat « tempéré », compris entre 15°C et 25°C). Un extrait des températures moyennes annuelles régionales (pour 1990 et 2020) est fourni en section « 3B_Manure management ». L'approximation d'un climat « froid » appliqué à toutes les régions a été effectuée.

Les pH des sols sont disponibles par cantons (résolution fine) dans la Base de Données d'Analyse des Terres (BDAT)[965]. Une simulation a été menée en prenant en compte ces pH de manière à différencier les FE EMEP 2016. Cette simulation a donné des résultats très similaires à ceux obtenus en appliquant les FE moyennés entre les deux gammes de pH disponibles dans EMEP 2016, pour un climat « froid ». Le choix a été fait de conserver cette approche simplifiée, à savoir l'application des facteurs d'émission moyennés pour la gamme de pH en climat « froid », pour le calcul d'émission d'ammoniac des engrais minéraux.

Les facteurs résultants utilisés dans l'inventaire national sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 141 : Facteurs d'émission de NH_3 pour les engrais minéraux

Type de fertilisant	kg NH_3 / kg de N épandu
Ammoniac anhydre	0,027
Nitrate d'ammonium (Ammonitrates)	0,024
Sulphate d'ammonium	0,128
Solutions azotées	0,097
Urée	0,160
Autres simples N	0,015
Autres composés	0,071

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 et 2017 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%.

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 ;
- De 2017 à l'année en cours : application des taux issus de l'enquête 2017.

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 (voir section Données d'activité - Origines et quantités d'azote apportées). Par simplification, un facteur d'émission moyen annuel, tous engrais confondus, est recalculé au niveau de la Métropole, et appliqué à l'azote minéral épandu en Outre-mer.

Épandage des déjections

Le calcul des émissions de NH_3 liées à l'épandage des déjections est décrit en section « 3B_Manure management ».

Pâturage

Le calcul des émissions de NH_3 liées aux animaux gérés à la pâture est décrit en section « 3B_Manure management ».

Boues

Le facteur d'émission utilisé, tiré d'EMEP 2019 [1060] 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 2019 [1060], 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 « **Données d'activité - Origines et quantités d'azote apportées** », et la répartition des déjections entre porcins et volailles est connue.

Cas des résidus de culture

Voir Annexe 3.

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 Évaluation 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.a, 3.D.b) en tenant compte des lignes directrices du GIEC 2006.

L'activité 3.D.a, 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.b concerne les émissions indirectes de N_2O (redépôts 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 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 ≈ 2 fois l'écart type d'une distribution normale) aux facteurs d'émissions sont déterminés à partir des valeurs disponibles dans le GIEC 2006. 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.

Des corrélations ont été prises en compte pour certains facteurs d'émission qui ont la même valeur pour des sources d'émissions différentes. Par exemple le facteur d'émission utilisé concernant la fraction d'azote émise sous forme de NO_x et de NH_3 liée à l'épandage des déjections animales est aussi utilisé pour la pâture. Le même tirage de ce facteur d'émission a donc été utilisé pour le calcul des émissions associées.

Les émissions directes de N_2O issue du secteur 3.D.a ont ainsi une incertitude de 146 %. Les émissions indirectes de N_2O issues du secteur 3.D.b ont une incertitude de 363 %.

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 (INRA, Instituts techniques, etc.) sur toutes les questions relatives aux émissions dans l'atmosphère de l'agriculture.

5.5.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRF 3D

	PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
Total	Ancien (3D)	kt CO2e	34 424	32 984	34 892	32 648	31 859	32 375	31 265	0
	Nouveau (3D)	kt CO2e	33 850	32 410	34 330	32 100	31 306	31 709	30 619	29 169
	Différence (3D)	kt CO2e	-574	-575	-562	-549	-552	-666	-646	29 169
Différence Edition 2020 / 2021	3.D.a.1 Fertilisants azotés inorganiques	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	1	9 542
	3.D.a.2 Fertilisants azotés organiques	kt CO2e	-3	-3	-3	-2	-1	22	57	2 931
	3.D.a.3 Urine et déjections déposés par les animaux de pâturage	kt CO2e	0	0	0	0	0	-78	-67	7 515
	3.D.a.4 Résidus de culture	kt CO2e	-58	-58	-47	-37	-42	-88	-120	3 989
	3.D.a.5 Minéralisation/immobilisation associée à la perte/gain de matière organique du sol	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.D.a.6 Cultures des sols organiques (histosols)	kt CO2e	-502	-502	-502	-502	-502	-502	-502	21
	3.D.a.7 Autres	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.D.b.1 Déposition atmosphérique	kt CO2e	0	0	0	0	0	-2	3	1 333
	3.D.b.2 Lessivage et lixiviation de l'azote	kt CO2e	-11	-12	-10	-7	-8	-20	-18	3 839

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

Description du recalcul

Les variations constatées résultent principalement des raisons suivantes :

- Amélioration du calcul des surfaces en histosols cultivés et mise à jour des facteurs d'émission selon le supplément Wetlands du GIEC (2013)
- Modification à la baisse de la teneur en azote des résidus du soja et correction du calcul pour le retour au champ des résidus de pomme de terre et de betterave
- La redistribution des effectifs animaux entraîne au global une baisse de l'azote excrété total, une hausse à l'épandage des déjections et une baisse du temps passé à la pâture (voir section 3B). Aussi les émissions sont à la hausse en 3.D.a.2 et à la baisse en 3.D.a.3
- La teneur en azote des boues a été révisée à la baisse en incluant de nouvelles références bibliographiques. Aussi, il y a un repli des émissions sur la période 1990-2017 et une hausse des émissions en lien avec des données d'activités révisées à partir de 2018
- Révision des données d'activité à la baisse de 1990 à 2007 pour les digestats hors effluents d'élevage, et révision à la baisse des composts de 1990 à 1997, puis à la hausse à partir de 1998.
- Mise à jour des données d'activité des engrais minéraux pour l'année 2019

Raison et justification

Selon les recalculs, les raisons et justifications sont les suivantes : mise à jour de certaines données d'activité, affinement des méthodes existantes et correctifs. Notamment pour les histosols, la raison du recalcul est une amélioration de la précision et la prise en compte des recommandations Giec (2013).

5.5.6 Améliorations envisagées

Des travaux menés par l'INRAE sont en cours sur des techniques d'intervention sur les émissions de N₂O 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 N₂O permis par ces techniques.

5.6 Brûlage de résidus agricoles (3F)

5.6.1 Caractéristiques de la catégorie

Le brûlage de résidus de culture est une pratique interdite en France pour les grandes cultures : en effet, dans le cadre du respect de la conditionnalité (mesure de bonnes conditions agricoles et environnementales, fixées au niveau national), les agriculteurs qui demandent les aides de soutien de la politique agricole commune sont tenus de ne pas brûler les résidus de paille ainsi que les résidus des cultures d'oléagineux, de protéagineux et de céréales. À titre exceptionnel et par dérogation, ce brûlage est autorisé lorsqu'il s'avère nécessaire pour des motifs sanitaires dûment justifiés. Les règles de dérogations ont changé à partir de 2016, date pour laquelle il n'est plus possible d'obtenir une dérogation pour raisons agronomiques. Certaines surfaces sont donc encore brûlées mais cette pratique demeure peu répandue. Les principales cultures brûlées sont le lin et le riz (pailles riches en silice qui usent le matériel et possèdent un potentiel de dégradation faible). Une part significative des émissions rapportée provient du brûlage des sarments de vigne dont l'activité est tolérée (des restrictions peuvent néanmoins être émises en cas de pic de pollution) et des surfaces de canne à sucre en Outre-mer pour lesquelles le brûlage fait 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/omine/>.

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 de la section 3D sur les sols agricoles.

Pour les vignes, l'estimation des quantités de sarments brûlés est basée sur le taux de restitution des sarments à la parcelle qui est fourni dans les enquêtes pratiques culturales du SSP 2006 et 2013 [707] : on considère que les sarments non restitués à la parcelle sont 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 2013 à l'année en cours : application des taux issus de l'enquête 2013.

Pour la canne à sucre, l'estimation des surfaces brûlées est basée sur des publications de l'AMADEPA [708] et du CIRAD [709].

Émissions de CO₂

Conformément aux règles de la Convention Climat, les émissions de CO₂ 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 CO₂ de la biomasse ligneuse sont rapportées dans le secteur utilisation des terres.

Émissions de CH₄, N₂O

La méthodologie utilisée est celle des lignes directrices GIEC 2006 [656]. L'équation utilisée est l'équation 2.27, chapitre 2 [656], et peut être réécrite de la manière suivante :

$$\text{Émissions} = \text{MS}_{\text{brûlée}} * \text{FE}$$

Avec :

MS_{brûlée} : Matière sèche des résidus brûlés en kg,

FE : facteur d'émission (0,0027 kg CH₄ / kg MS brûlée et 0,00007 kg N₂O / kg MS brûlée, tableau 2.5 des lignes directrices du GIEC [656])

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 2^{ème} 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 CH₄ et le N₂O). 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 (INRA, Instituts techniques, etc.) sur toutes les questions relatives aux émissions dans l'atmosphère de l'agriculture.

5.6.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRF 3F

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	91	89	97	61	56	43	36	41	38	41	0
Nouveau	kt CO ₂ e	91	89	97	61	56	43	36	41	38	41	37
	kt CO ₂ e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+37
Différence	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

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

Description des recalculs

Pas de changement méthodologique ni de recalcul cette année.

5.6.6 Améliorations envisagées

L'estimation des émissions liées au brûlage des sarments de vignes pourrait être améliorée dans les prochaines soumissions, avec la prise en compte des résultats de l'enquête Pratiques Viticulture 2019, la mobilisation d'autres sources pour estimer le devenir des sarments, une étude bibliographique pour l'estimation de la biomasse par hectare dans les sarments, la recherche de facteurs d'émission plus pertinents...

Des réflexions sont 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 brûlage de résidus ligneux (taillis, sarments) des cultures pérennes en UTCATF, ce qui semblerait être la règle préconisée par le CCNUCC dans les tables CRF 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 CO₂ lors de la décarbonatation des carbonates.

5.7.2 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/fr/omine/>.

La méthode appliquée est de rang GIEC 1.

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 CO₂ 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 CO₂ 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 142 : 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 %
Écumes 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 CO₂

Les émissions de CO₂ liées à l'épandage d'amendements carbonés sont estimées grâce au GIEC 2006 [799].

$$\Delta C_{\text{Lime}} = M_{\text{Limestone}} \times EF_{\text{Limestone}} + M_{\text{Dolomite}} \times EF_{\text{Dolomite}}$$

Avec :

ΔC_{Lime} = Émission annuelle de carbone due à l'application d'amendements carbonés, t C/an
 M = Quantité d'amendements calcaires (CaCO₃) ou dolomitique (CaMg(CO₃)₂), t C/an
 EF = Facteur d'émission, t C/t amendement (12% pour CaCO₃, 13% pour CaMg(CO₃)₂)

Les émissions de CO₂ liées à l'épandage des ammonitrates (en particulier des calcium Ammonium Nitrate) sont estimées de la manière suivante :

A partir de la quantité d'azote totale des ammonitrates et des poids molaires du nitrate d'ammonium (NH₄NO₃), on obtient le tonnage de nitrate d'ammonium :

$$\text{Tonnes de NH}_4\text{NO}_3 = \text{tonnes de N}_{\text{Ammonitrates}} \times MM_{\text{NH}_4\text{NO}_3} / (MM_{\text{N}} \times 2)$$

Avec :

MM = Masse molaire (80 g/mol pour le NH₄NO₃ et 14 g/mol pour le N)

La part des composants calcaire ou dolomite est ensuite déduite par différence entre les tonnes de produits (incluant du calcaire et de la dolomie) et les tonnes NH₄NO₃ :

$$\text{Tonnes}_{\text{Calcaire ou dolomite}} = \text{tonnes de Produit}_{\text{Ammonitrates}} - \text{tonnes de NH}_4\text{NO}_3$$

On en déduit les émissions de CO₂ :

$$\Delta C_{\text{AN}} = M_{\text{Calcaire ou dolomite}} \times \text{moyenne } (EF_{\text{Dolomite}} ; EF_{\text{Calcaire}})$$

Avec :

ΔC_{AN} = Émission 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 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

Les émissions de CO_2 totales sont obtenues ainsi : $\text{CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{/an)} = (\Delta\text{C}_{\text{Lime}} + \Delta\text{C}_{\text{AN}}) * 44/12$

Émissions de CH_4

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

Émissions de N_2O

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

Émissions de Gaz fluorés

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

5.7.3 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 2^{ème} 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 [IPCC 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	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO2e	915	1 049	955	914	802	863	789	645	732	669	0
Nouveau	kt CO2e	915	1 049	955	914	802	863	789	645	732	669	641
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+641
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

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

Description des recalculs

Pas de recalculs.

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 CO₂ 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/omine/>.

La méthodologie utilisée correspond à une méthode de rang 1 du GIEC.

Émissions de CO₂

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 3 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 1^{er} juillet au 30 juin pour les simples N). 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] est utilisée avec un facteur d'émission de 0,2 kgC-CO₂/kg [799].

$E_{CO_2} = M \times EF \times 44/12$

Avec :

- E_{CO_2} : Émissions annuelles de CO₂ liées à l'épandage d'urée (t CO₂/an)
- M : Masse d'urée (t/an)
- EF : Facteur d'émission (tC-CO₂/t)
- $44/12$: Conversion des tC-CO₂ en tCO₂.

Émissions de CH₄

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

Émissions de N₂O

Les émissions de N₂O sont rapportées et décrites dans la section 3D sols agricoles.

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 2^{ème} 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 [IPCC 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	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO2e	850	803	871	886	1 011	1 140	1 225	1 298	1 290	1 270	0
Nouveau	kt CO2e	850	803	871	886	1 011	1 140	1 225	1 298	1 290	1 211	1 036
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-59	+1 036
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-5%	-

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

Description des recalculs

Mise à jour des données d'activité pour 2019.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude.

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 CO₂ suite aux apports d'engrais contenant du carbone, tels que le calcium ammonium nitrate. Cet apport entraîne des émissions de CO₂ 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). Suite à la revue ESD 2020, une source supplémentaire a été incluse, à partir de la soumission d'inventaire 2021. Cette catégorie ne fait pas l'objet d'un rapportage obligatoire.

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 CO₂

Les émissions de CO₂ liées à l'épandage des Calcium Ammonium Nitrate sont estimées de la manière suivante :

Les quantités de CAN (27% d'azote) sont incluses dans la catégorie ammonitrates, dont les tonnages sont fournis par l'Unifa. À partir de la quantité d'azote totale des ammonitrates et des poids molaires des deux composants (nitrate d'ammonium NH₄NO₃ et calcaire ou dolomite), on obtient le tonnage de nitrate d'ammonium :

$$\text{Tonnes de NH}_4\text{NO}_3 = \text{tonnes de N}_{\text{Ammonitrates}} \times \text{MM}_{\text{NH}_4\text{NO}_3} / (\text{MM}_\text{N} \times 2)$$

Avec :

MM = Masse molaire (80 g/mol pour le NH₄NO₃ et 14 g/mol pour le N)

La part des composants calcaire ou dolomite est ensuite déduite :

$$\text{Tonnes}_{\text{Calcaire ou dolomite}} = \text{tonnes de Produit}_{\text{Ammonitrates}} - \text{tonnes de NH}_4\text{NO}_3$$

On en déduit les émissions de CO₂ :

$$\Delta C_{\text{CAN}} = M_{\text{Calcaire ou dolomite}} \times \text{moyenne} (\text{EF}_{\text{Dolomite}} ; \text{EF}_{\text{Calcaire}})$$

Avec :

ΔC_{CAN} = Emission annuelle de carbone due à l'application de CAN, t C/an

M = Quantité de calcaire ou dolomite contenue dans les CAN, t C/an

EF = Facteur d'émission, t C/t amendement (12% pour CaCO₃, 13% pour CaMg(CO₃)₂)

Les émissions de CO₂ totales sont obtenues ainsi : CO₂ (t CO₂/an) = (ΔC_{Lime} + ΔC_{CAN}) * 44/12

Émissions de CH₄

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

Émissions de N₂O

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 2^{ème} 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	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO2e	128	121	162	165	172	173	150	165	163	152	0
Nouveau	kt CO2e	128	121	162	165	172	173	150	165	163	152	182
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+182
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

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

Description des recalculs

Pas de recalculs

5.9.6 Améliorations envisagées

Aucune amélioration n'est prévue pour ce sous-secteur.

6 UTCATF (CRF 4)

6.1 Présentation générale du secteur

Composition du secteur UTCATF

L'UTCATF traite toutes les questions relatives au carbone, depuis la biomasse vivante jusqu'à la matière organique des sols, et 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CRF 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 CO₂. 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.¹⁷ 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 (CO₂, CH₄, N₂O) 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.

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.

¹⁷ 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.).

Figure 154 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF pour la métropole et l'Outre-mer (UE)

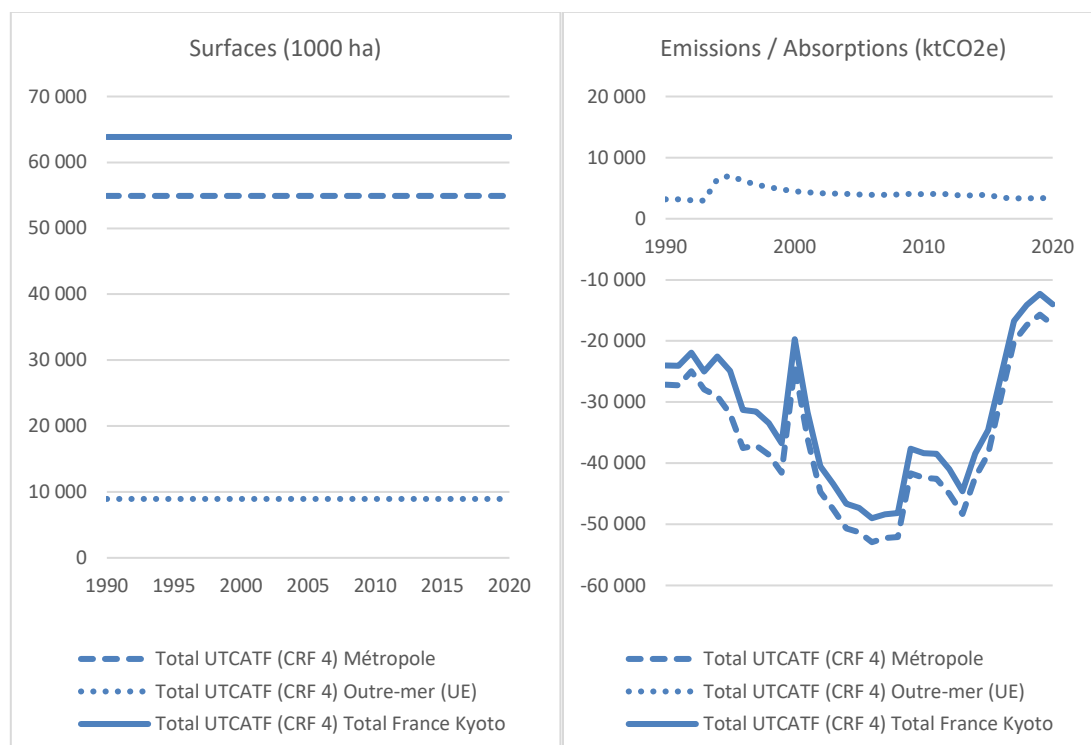


Figure 155 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF par catégorie CRF

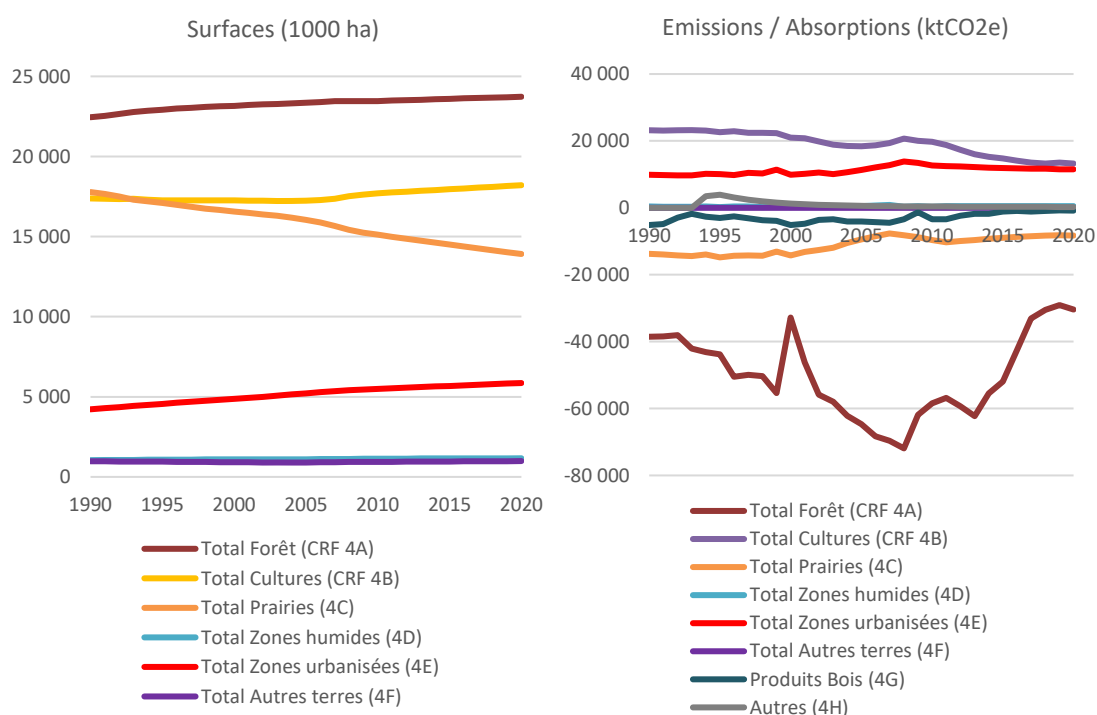


Tableau 143 : Surfaces et Emissions / Absorptions du secteur UTCATF pour la métropole et l'Outre-mer (UE)

	Surfaces (1000 ha)			Emissions / Absorptions (ktCO2e)		
	Total UTCATF (CRF 4)			Total UTCATF (CRF 4)		
	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto
1990	54 919	8 939	63 858	-27 144	3 158	-23 986
1991	54 919	8 939	63 858	-27 245	3 174	-24 071
1992	54 919	8 939	63 858	-24 974	3 041	-21 933
1993	54 919	8 939	63 858	-27 954	2 958	-24 996
1994	54 919	8 939	63 858	-29 028	6 491	-22 537
1995	54 919	8 939	63 858	-31 918	7 039	-24 879
1996	54 919	8 939	63 858	-37 496	6 229	-31 267
1997	54 919	8 939	63 858	-37 105	5 576	-31 529
1998	54 919	8 939	63 858	-38 603	5 164	-33 440
1999	54 919	8 939	63 858	-41 558	4 826	-36 732
2000	54 919	8 939	63 858	-24 199	4 490	-19 709
2001	54 919	8 939	63 858	-35 973	4 317	-31 657
2002	54 919	8 939	63 858	-44 710	4 183	-40 527
2003	54 919	8 939	63 858	-47 505	4 118	-43 387
2004	54 919	8 939	63 858	-50 689	4 059	-46 630
2005	54 919	8 939	63 858	-51 294	3 983	-47 311
2006	54 919	8 939	63 858	-52 920	3 919	-49 001
2007	54 919	8 939	63 858	-52 249	3 887	-48 362
2008	54 919	8 939	63 858	-52 103	3 950	-48 153
2009	54 919	8 939	63 858	-41 682	4 074	-37 608
2010	54 919	8 939	63 858	-42 369	4 014	-38 355
2011	54 919	8 939	63 858	-42 526	4 069	-38 457
2012	54 919	8 939	63 858	-45 008	4 014	-40 994
2013	54 919	8 939	63 858	-48 328	3 737	-44 591
2014	54 919	8 939	63 858	-42 286	3 872	-38 414
2015	54 919	8 939	63 858	-38 499	3 922	-34 577
2016	54 919	8 939	63 858	-29 023	3 458	-25 565
2017	54 919	8 939	63 858	-20 081	3 338	-16 743
2018	54 919	8 939	63 858	-17 408	3 316	-14 091
2019	54 919	8 939	63 858	-15 686	3 398	-12 288
2020	54 919	8 939	63 858	-17 364	3 359	-14 005

Tableau 144 : Catégories du secteur UTCATF estimées dans l'inventaire français

	Forêt	Terres devenant Forêt	Cultures	Terres devenant cultures	Prairies	Terres devenant Prairies	Zones humides	Terres devenant Zones humides	Artificial	Terres devenant Artificial	Autres terres	Terres devenant Autres terres	Produits ligneux récoltés	Autres
	4A1	4A2	4B1	4B2	4C1	4C2	4D1	4D2	4E1	4E2	4F1	4F2	4G	4H
Variation des stocks de différents réservoirs de carbone														
biomasse vivante aérienne	E	E	(0 = NA)	E	(0 = NA)	E	NE	E	NE	E	NE	NE		
biomasse vivante racinaire	E	E	(0 = NA)	E	(0 = NA)	E	NE	E	NE	E	NE	NE		
bois mort	E=0	E		E		E		E		E		NE		
litière	E=0	E		E		E		E		E		NE		
sol	E=0	E	E	E	E	E	E=0	NE	E=0	E	NE	NE		
(I) Emissions directes de N ₂ O liées à la fertilisation	NE	NE	E (a)	E (a)	E (a)	E (a)	NE	NE	NE	NE	NE	NE		
(II) Emissions de CH ₄ et N ₂ O liées au drainage ou	NE	NE	O	O	O	O	NE	NE	NE	NE	NE	NE		
(III) Emissions de N ₂ O liées à la minéralisation de	E	E	E (a,u)	E (a,u)	E (a,u)	E (a,u)	NE	E	NE	E	NE	E		
(IV) Emissions indirectes de N ₂ O	E	E	E (a,u)	E (a,u)	E (a,u)	E (a,u)	NE	NE	NE	NE	NE	NE		
(V) Emissions de CO ₂ , CH ₄ et N ₂ O liées au brûlage	E	E	E (a,u)	E (a,u)	E (a,u)	E (a,u)	NE	NE	NE	NE	NE	NE		
Produits ligneux récoltés													E	
Autres														E

0 = NA* : hypothèse d'équilibre (tier 1)

E (a) Emissions intégralement rapportées dans le secteur agriculture

E (a, u) : Emissions partiellement rapportées dans le secteur agriculture

Analyse en catégories sources-clés (key category analysis)**Tableau 145 : Substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en niveau (2020)**

Sous-secteur	GES	Niveau	
		Rang	Contribution (%)
4A1 - Forest Land remaining Forest Land	CO ₂	2 ^e	8,2%
4B2 - Land converted to Cropland	CO ₂	6 ^e	3,4%
4E - Settlements	CO ₂	13 ^e	2,0%
4A2 - Land converted to Forest Lands	CO ₂	15 ^e	1,5%
4C2 - Land converted to Grassland	CO ₂	17 ^e	1,4%
4B1 - Cropland remaining Cropland	CO ₂	29 ^e	0,8%
4B2 - Land converted to Cropland	N ₂ O	43 ^e	0,3%

Tableau 146 : Substances pour lesquelles le secteur UTCATF est source clé en tendance (1990-2020)

Sous-secteur	GES	Evolution	
		Rang	Contribution (%)
4A1 - Forest Land remaining Forest Land	CO ₂	4 ^e	5.2%
4B2 - Land converted to Cropland	CO ₂	8 ^e	3.3%
4C2 - Land converted to Grassland	CO ₂	11 ^e	2.3%
4E Settlements	CO ₂	18 ^e	1.4%
4A2 - Land converted to Forest Land	CO ₂	22 ^e	1.1%
4G - Harvested Wood Products	CO ₂	28 ^e	0,8%
4B1 - Cropland remaining Cropland	CO ₂	48 ^e	0,4%
4B2 - Land converted to Cropland	CO ₂	57 ^e	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 CRF :

- 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

Définitions**Définition de « Forêt »**

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 incluses 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 205, FRA 2010, FRA 2015.

Définitions de « Gestion forestière » et « Forêt gérée »

En France, l'ensemble du territoire est considéré géré quelle que soit la catégorie d'utilisation des terres (voir partie LULUCF générique).

Une forêt est **gérée** au sens de la CCNUCC lorsqu'elle fait l'objet d'opérations de gestion forestière visant à administrer ses fonctions écologiques, économiques et sociales. Le terme « opération de gestion forestière » recouvre les actions de coupes ou de travaux forestiers mais également les actions de planification forestière, d'accueil du public en forêt ou de protection des écosystèmes forestiers.

En application de cette définition, la totalité des surfaces forestières (métropole et outre-mer) est considérée gérée. Certaines forêts sont peu ou pas exploitées d'un point de vue sylvicole, mais sont gérées, par exemple sous le régime des Parcs Naturels Nationaux.

Définitions de « forêts restant forêts » et « terres devenant forêts »

La catégorie « forêts restant forêts » correspond à l'ensemble des terres en forêt depuis au moins 20 ans (période par défaut définie par le GIEC).

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).

6.2.2 Cultures

Définition de « terres cultivées » et sous-catégories

La catégorie des « terres cultivées » comprend les terres cultivées et labourées (y compris en jachère et en prairies temporaires) 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 (céréales, racines et tubercules, cultures industrielles, légumes secs, légumes frais, fleurs).

- Les prairies temporaires (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).
- Les cultures permanentes qui restent en place pendant plus d'une campagne agricole (arbres fruitiers, baies, vignes, oliviers, pépinières, etc.).

Définition de « Gestion des cultures » (Cropland Management ou CM)

Dans le cadre de l'article 3.4 du Protocole de Kyoto, l'**activité de Gestion des Cultures n'a pas été élue par la France**. Néanmoins un rapportage de cette activité est présenté à l'Union Européenne dans le cadre de la décision EU/529/2013.

Définition de « terres cultivées restant terres cultivées » et « terres devenant terres cultivées »

La catégorie des terres cultivées restant terres cultivées correspond à l'ensemble des terres en cultures depuis au moins 20 ans (période par défaut définie par le GIEC).

La catégorie des terres devenant terres cultivées correspond à l'ensemble des terres en cultures depuis moins de 20 ans (période par défaut définie par le GIEC).

6.2.3 Prairies

Définition de « Prairie » et sous-catégories

La catégorie des « Prairies » 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 en herbe. 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).
- Haies.
- Prairies arbustives.
- Bosquets (surface boisée < 0,5 ha).

Définition de « Gestion des pâturages » (Grazing Land Management ou GM)

Dans le cadre de l'article 3.4 du Protocole de Kyoto, l'**activité de Gestion des Pâturages n'a pas été élue par la France**. Néanmoins un rapportage de cette activité est présenté à l'Union Européenne dans le cadre de la décision EU/529/2013. Cette activité inclut les surfaces de la sous-catégorie « Prairie en herbe » ; et prend en compte l'ensemble des types de gestions.

Définition de « prairies restant prairies » et « terres devenant prairies »

La catégorie des prairies restant prairies correspond à l'ensemble des terres en usage prairie au sens du GIEC depuis au moins 20 ans (période par défaut définie par le GIEC).

La catégorie des terres devenant prairies correspond à l'ensemble des terres en prairie depuis moins de 20 ans (période par défaut définie par le GIEC).

6.2.4 Zones humides

Définition de « terres humides »

Il s'agit des 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 inclut les retenues d'eau, les rivières et les lacs. A noter que les mangroves en revanche sont incluses dans la catégorie Forêt.

Définition de « terres humides restant terres humides » et « terres devenant terres humides »

La catégorie des « terres humides restant terres humides » correspond à l'ensemble des terres en usage « terres humides » au sens du GIEC depuis au moins 20 ans (période par défaut définie par le GIEC).

La catégorie des « terres devenant terres humides » correspond à l'ensemble des terres en usage « terres humides » au sens du GIEC depuis moins de 20 ans (période par défaut définie par le GIEC).

6.2.5 Zones urbanisées

Définition de « zone urbanisée »

Terres bâties incluant les infrastructures de transport et les zones habitées de toutes tailles, sauf si celles-ci sont comptabilisées 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.

Définition des « zones urbanisées restant zones urbanisées » et « terres devenant zones urbanisées »

La catégorie des « zones urbanisées » restant « zones urbanisées » correspond à l'ensemble des terres en usage « zones urbanisées » au sens du GIEC depuis au moins 20 ans (période par défaut définie par le GIEC).

La catégorie des « terres devenant zones urbanisées » correspond à l'ensemble des terres en usage « zones urbanisées » au sens du GIEC depuis moins de 20 ans (période par défaut définie par le GIEC).

6.2.6 Autres terres

Définition des Autres terres

Terres pour lesquelles aucune des catégories précédentes ne convient : sol nu, roche, glacier, et autres terres non gérées non comptabilisées ailleurs.

Définition de « autres terres restant autres terres » et « terres devenant autres terres »

La catégorie des « autres terres » restant « autres terres » correspond à l'ensemble des terres en usage « autres terres » au sens du GIEC depuis au moins 20 ans (période par défaut définie par le GIEC).

6.2.7 Produits bois

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

Suivi des terres

Suivi des terres : généralités

Dans l'inventaire français, le suivi du territoire est réalisé :

- par **région** (22 anciennes régions administratives métropolitaines, 6 territoires d'Outre-Mer inclus dans l'UE et 7 territoires d'Outre-mer non inclus dans l'UE), soit au total 35 régions. Toutes les régions sont prises en compte dans l'inventaire (voir section 1.7 du rapport NIR et voir Annexe 5 du rapport Ominea). La qualité des données disponibles varie en fonction des régions.
- par **catégorie d'utilisation des terres**. La méthodologie de suivi de l'utilisation de terres mise en œuvre en France, présentée dans la suite du document, correspond à une **approche 2** du GIEC (utilisation de matrices de changement d'utilisation des terres établies sur la base d'un échantillon statistique extrapolé à l'ensemble du territoire). Elle couvre de manière exhaustive le territoire et permet de suivre l'évolution des terres par échantillonnage statistique, mais ne permet pas une représentation géographique fine des changements d'utilisation des terres. Des matrices annuelles de changement d'utilisation des terres sont réalisées pour chacune des 35 régions, et à compter de l'année 1970 (afin de réaliser des matrices de changement sur 20 ans dès l'année 1990) jusqu'à l'année d'inventaire.

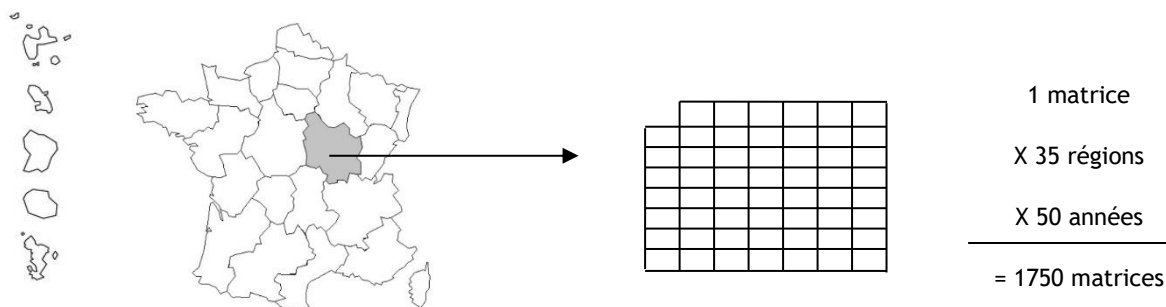
Depuis l'inventaire 2020, 100% du territoire français est considéré géré, quelle que soit l'utilisation des terres. Cela répond à la définition du Giec : « les terres gérées sont les terres subissant interventions et pratiques humaines à des fins productives, écologiques ou sociales » (Giec 2006, vol 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...).

Contexte : lignes directrices du Giec

Dans le cadre de la CCNUCC, le guide UTCATF du GIEC [672] propose 3 approches de précision et de difficulté croissantes pour évaluer les changements d'utilisation des terres :

- Approche 1 : représentation basique des terres sans suivi de l'évolution de chaque catégorie de terre,
- Approche 2 : utilisation de matrices de changement d'utilisation des terres établies sur la base d'un échantillon statistique extrapolé à l'ensemble du territoire
- Approche 3 : utilisation de matrices de changement d'utilisation des terres avec une couverture exhaustive et la possibilité de représenter spatialement une carte des changements d'utilisation des terres. L'approche 3 est le plus souvent issue de travaux à partir d'images satellites mais peut aussi en théorie être mise en œuvre à partir d'un échantillonnage statistique.

Figure 156 : Approche pour les 35 régions françaises (sur environ 50 années)



L'approche utilisée est cohérente sur l'ensemble des territoires. Néanmoins, selon la région considérée, ces matrices de changements d'utilisation des terres n'ont pas les mêmes sources d'information, faute de jeu de données homogène sur l'ensemble de ces territoires.

Tableau 147 : Sources d'information utilisée pour le suivi des terres en fonction de la région

Périmètre	Région	Données
Métropole (périmètre Kyoto)	Alsace	Enquêtes TerUtil [197]
	Aquitaine	
	Auvergne	
	Basse-Normandie	
	Bourgogne	
	Bretagne	
	Centre Val de Loire	
	Champagne-Ardenne	
	Corse	
	Haute-Normandie	
	Franche-Comté	
	Île-de-France	
	Languedoc-Roussillon	
	Limousin	
	Lorraine	
	Midi-Pyrénées	
	Nord-Pas-de-Calais	
	Pays de la Loire	
	Picardie	
	Poitou-Charentes	
	Provence-Alpes-Côte d'Azur	
	Rhône-Alpes	
Outre-Mer inclus dans l'UE (périmètre Kyoto)	Guyane	ONF-IGN [327, 382, 673, 1201]
	Guadeloupe	ONF-IGN [383]
	Martinique	ONF-IGN [384]
	Réunion	ONF-IGN [385]
	Mayotte	RGA [389], SDGAGE [390], FRA [391]
	Saint-Martin	ESA CCI-LC [1054]
	St Barthélemy	Voir sections suivantes

Autres territoires d'Outre-Mer	Saint-Pierre-et-Miquelon
	Wallis et Futuna
	Polynésie française
	Nouvelle-Calédonie
	Terres australes et antarctiques françaises
	Île de Clipperton

Suivi des terres en France métropolitaine

En France métropolitaine, le calcul des émissions/absorptions du secteur UTCATF fait intervenir des matrices d'occupation des terres basées sur une enquête nationale, présentée ci-dessous.

Données

L'enquête de suivi de l'utilisation des terres par visite de points d'échantillonnage « TerUti » [197] est utilisée pour estimer les changements d'utilisation des terres en métropole entre 1982 et l'année la plus récente disponible. Les données sont découpées en plusieurs séries, présentant certaines ruptures méthodologiques.

Méthode de construction des données TerUti

Le service statistique du ministère de l'agriculture (SSP) réalise annuellement une enquête, dite « TERUTI » sur l'occupation physique et l'utilisation fonctionnelle du territoire, à l'échelle de la France métropolitaine [197]. Cette enquête est utilisée pour établir les matrices de changements d'utilisation des terres requises pour le calcul des émissions et absorptions du secteur UTCATF. Les résultats de cette enquête sont fournis chaque année au Citepa par le SSP. Trois séries statistiques TERUTI distinctes sont disponibles au cours du temps, elles comportent des différences de nomenclature mais diffèrent principalement du fait du changement de l'échantillon observé.

Série TERUTI (1982-1989)

Série TERUTI (1992-2004)

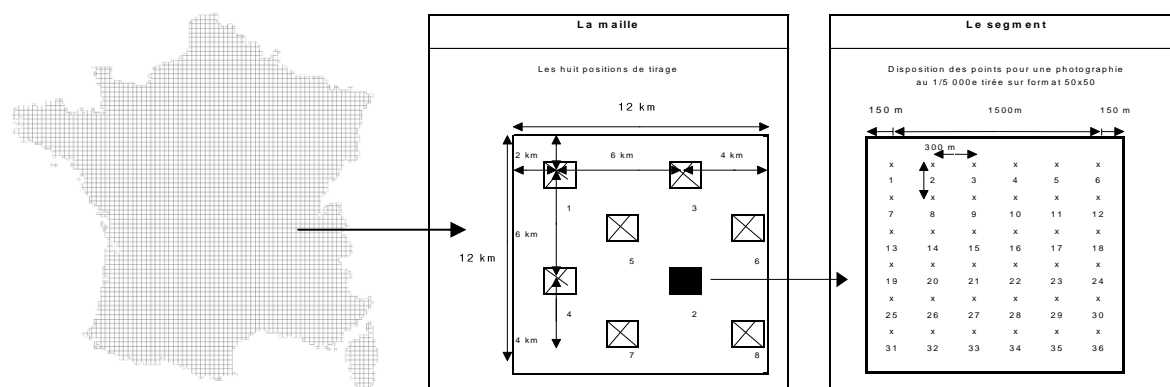
Série TERUTI-LUCAS (2005 - ... en cours)

Les enquêtes TERUTI suivent une méthode statistique annuelle basée sur la détermination de points

d'échantillonnage répartis sur tout le territoire. Selon un protocole établi, chacun des points de l'échantillon choisi est visité sur le terrain par un enquêteur qui détermine, par observation, la nature de l'occupation du sol. Il détermine également son utilisation fonctionnelle (traduisant le rôle socio-économique du territoire observé), ce qui est très utile pour les inventaires UTCATF qui sont plus focalisés sur l'utilisation des terres que sur leur occupation proprement dite. L'observation répétée tous les ans des mêmes points permet d'appréhender l'évolution du territoire [197].

Jusqu'en 2004, cet échantillonnage est réalisé à partir de 15 600 photographies aériennes environ couvrant la France métropolitaine suivant un réseau composé de 4 700 mailles de 12 x 12 km de côté, composées chacune de 8 segments. Ces photographies servent à la détermination de 555 900 points de sondage. En 2004, ce nombre est descendu à 155 000 pour des raisons budgétaires.

Figure 157 : Représentation schématique de l'échantillonnage TERUTI



Ramené à la surface nationale, un point de l'enquête correspond à 50 ha pour Paris, sa couronne et le territoire de Belfort et à 100 ha pour le reste de la métropole (en 2004, la valeur du point est passée à 360 ha).

Depuis 2005 et TERUTI-LUCAS, le principe utilisé reste similaire mais l'échantillonnage est géo référencé et mieux harmonisé avec les autres pays européens. En France, les

En 2011, aucune donnée TERUTI-LUCAS n'a été produite en raison du recensement agricole qui s'est déroulé la même année et depuis 2012, des modifications importantes ont été apportées à l'enquête. En effet, dans l'optique de limiter le travail des enquêteurs de terrain, les données du Registre parcellaire graphique (RPG) qui sont des données déclaratives des agriculteurs ont été exploitées. Ces données concernent des îlots agricoles, elles se sont

points d'échantillonnage de TERUTI-LUCAS représentent de manière approximative 94 ha pour Paris, sa couronne et le territoire de Belfort et 178 ha pour les autres départements métropolitains (sauf en 2005 où le nombre de points enquêtés a été réduit de moitié).

substituées depuis 2012 aux données issues des enquêtes de terrain pour les points inclus dans des îlots déclarés au RPG. Cette modification entraîne des traitements spécifiques de la part du SSP en charge de l'enquête pour conserver une information cohérente sur la série commencée en 2005.

Tableau 148 : Source ou méthode utilisée pour le suivi des terres en Métropole en fonction de la période

Période	Source	Commentaire
1970-1982		Les taux de changements observés entre 1982 et 1989 ont été extrapolés à la période 1970-1982.
1982-1989	Série TERUTI (1982-1989)	L'année 1981 est également couverte par l'enquête mais présente des résultats incohérents avec le reste de la série, cette année de suivi a été supprimée de l'analyse.
1989-1992		Les taux de changements de la période 1989-1992 sont estimés par interpolation linéaire à partir des changements observés en 1989 et en 1993.
1992-2004	Série TERUTI (1992-2004)	Série de 12 années consécutives soit la série cohérente la plus longue dans les enquêtes TERUTI.
2004-2006		Les taux de changements de la période 2004-2006 sont estimés par interpolation linéaire à partir des changements observés en 2004 et en 2007.
2006-2010	Série TERUTI-LUCAS 1	La série TERUTI-LUCAS est basée sur des points d'enquêtes différents de ceux de l'enquête précédente.
2010-2011		Année non enquêtée. Les changements sont déduits des résultats obtenus l'année suivante.
2011-2015	Série TERUTI-LUCAS 2	Cette série est dans la continuité de la série TERUTI-LUCAS 1 sauf pour les points inclus dans des îlots de déclaration du registre parcellaire graphique (RPG) qui sert de source de remplacement.
2015-2020		Années extrapolées depuis la période précédente

Traitements

Plusieurs traitements sont effectués afin d'obtenir des matrices de changement d'utilisation des terres homogènes, entre des catégories d'utilisation des terres compatibles avec les catégories du Giec, et couvrant toute la période (1970 à l'année inventoriée).

Mise en correspondance de la nomenclature

D'abord, les catégories de TerUti sont converties dans le système de catégories finales. Les 6 catégories requises par le GIEC pour le calcul des émissions (forêts, terres cultivées, prairies, zones humides, zones urbanisées et autres terres) sont découpées selon une nomenclature plus fine, en 16 catégories, afin de préciser le calcul des flux de gaz à effet de serre (notamment pour le suivi de la biomasse) et de mieux comprendre l'évolution des différents types de terre.

A noter que du fait des définitions retenues pour la forêt au sens de la CCNUCC, les dénominations de terres "GIEC" peuvent recouvrir des ensembles plus larges que le sens commun (ou suivant TERUTI). Par exemple, les espaces boisés n'atteignant pas les critères minimums de définition d'une forêt (avec un taux de couvert de 10% par exemple) sont classées dans la catégorie des prairies.

L'intégralité des correspondances utilisées est fournie en annexe (cf Annexe sur les correspondances TERUTI-inventaire).

Tableau 149 : Extrait de la correspondance entre les codes TERUTI et la nomenclature GIEC

		Catégorie d'utilisation											
		Productions végétales	Jachère	Elevage	Activités agricoles ..	Sylviculture ..	Pisciculture	Mines, carrières	Production d'énergie	Produits alimentaires...	Produits textiles...	Etc.	
		111	112	113	114	120	130	140	210	221	222		
Catégorie d'occupation	Forêt secondaire, feuillus ouverte	3114											Forêt de feuillus
	Peupleraie en plein (+ de 0,5 Ha)	3115											Forêt de peupliers
	Forêt de résineux fermée y c. sapin Noël	3121											Forêt de résineux
	Forêt résineux ouverte y c. sapin Noël	3122											
	Forêt mixte fermée (>40%)	3131											Forêt mixte
	Forêt mixte ouverte (10 à 40%)	3132											
	Bosquet de feuillus hors peupliers	3211											Terres urbanisées Avec arbres
	Peupleraie en plein (- de 0,5 Ha)	3212											
	Bosquet de résineux	3220											
	Bosquet mixte	3230											
	Haie arbustive, feuillus y. c. peuplier	3311											Prairie arborée
	Etc.												

Tableau 150 : Les 16 sous-catégories d'utilisation des terres

Code niveau 1	Catégorie Giec	Sous-catégorie Citepa	Code niveau 2
100	Forêts	Feuillus	111
		Conifères	112
		Mixte	113
		Peuplier	114
200	Prairies	Prairie en herbe	212
		Bosquets	213
		Haies	214
		Végétation arbustive	215
300	Cultures	Cultures	312
		Vergers	313
		Vignes	314
400	Zones humides	Zones humides	400
500	Zones artificielles	Artificiel nu, bâti	511
		Artificiel en herbe	512
		Artificiel arboré	513
600	Autres terres	Autres terres	600

Retraitement et homogénéisation des séries

Il n'est pas possible d'utiliser directement les données brutes pour générer des matrices annuelles de changements d'utilisation des terres. En effet, les séries TerUti présentent des différences de nomenclature et d'échantillonnage. Plusieurs traitements de données sont mis en place pour concilier les séries de données, conserver des superficies cohérentes au cours du temps et estimer les surfaces de changements avec le maximum de précision.

Justification des retraitements des séries TerUti

Les difficultés majeures qui apparaissent lors de la réalisation de matrices sont :

- Les **discontinuités** des superficies de chaque catégorie de terre entre les séries statistiques. Pour diminuer cet impact, les correspondances entre les nomenclatures TERUTI et la classification avec 16 catégories ont été adaptées et certaines terres reclassées. La principale discontinuité corrigée concerne une partie des prairies temporaires qui apparaissaient dans un code prairie dans la série TERUTI 1982-1989. Les surfaces en question ont été corrigées pour apparaître de manière correcte en cultures.
- Les **effets d'oscillation**. Les terres peuvent changer régulièrement d'utilisation et apparaître comme des
- Les **effets de récolte**. L'une des principales difficultés observées concerne les surfaces forestières qui ont subi une coupe rase, car il est difficile de déterminer s'il s'agit d'un défrichement (changement d'utilisation) ou de gestion forestière (terre qui reste en forêt). C'est notamment dans ces cas que l'information sur l'utilisation de la terre, disponible dans la base TERUTI, est très utile, la seule information sur l'occupation de la terre ne suffisant pas. Ainsi les terres forestières qui perdent leur couverture forestière mais qui demeurent en utilisation sylvicole ou sans usage sont reclassées en forêt et n'apparaissent logiquement pas dans les défrichements.

changements d'utilisation alors qu'il s'agit en vérité de rotations. L'exemple type concerne les changements entre cultures et prairies. Il n'est pas évident de différencier les prairies temporaires classées en culture des prairies permanentes classées en prairie. Pour diminuer cet impact les surfaces de changement estimées annuellement sont calées et ajustées sur les périodes de suivi les plus longues disponibles.

- Les **effets de seuil**. Beaucoup de terres sont à la limite de deux classes, c'est par exemple le cas des petites surfaces boisées qui peuvent être déclarées comme forêt une année (>0,5 ha) puis comme prairie l'année suivante (<0,5 ha) sans subir de changement réel. Elles peuvent donc apparaître successivement dans les deux catégories et être comptabilisées comme des changements d'utilisation. C'est pour diminuer l'impact de ces effets de seuil, que les catégories GIEC ont été subdivisées en 17 catégories en prenant en compte les quantités de biomasse.

Elaboration des matrices complètes à partir de l'année de référence 2007

Les données TerUti retraitées permettent d'élaborer des matrices 1 an et 20 ans, depuis 1970 jusqu'à l'année d'inventaire.

Règles du Giec : matrices »

Deux types de matrices de changements sont nécessaires pour le calcul des émissions/absorptions du secteur UTCATF :

- des **matrices annuelles** de changements pour évaluer les variations de surfaces mettant en jeu des phénomènes à cinétique rapide (déforestation),

- des **matrices couvrant une période de 20 ans** pour les phénomènes dont la cinétique est plus lente (par ex : constitution des stocks de carbone du sol, des litières). Cette période de 20 ans correspond à la valeur par défaut du GIEC. Bien qu'elle ne soit pas idéalement adaptée aux cinétiques en milieu tempéré pour lesquelles la période serait plus proche de 50 ans, d'évidentes limites sur la disponibilité des données conduisent à retenir cette valeur.

Les années de 1970 à 1982 sont reportées ou interpolées sur la base des années les plus proches de manière avoir une série complète depuis 1970 jusqu'à l'année d'inventaire.

Les matrices nécessaires au calcul des émissions/absorptions du secteur UTCATF peuvent être élaborées en appliquant de manière itérative les taux annuels de changement d'utilisation à une année de référence (l'année 2007 a été choisie). Les matrices complètes de changement d'utilisation des terres sont ainsi conçues à partir des surfaces de l'année 2007 grâce aux équations suivantes illustrées par le schéma ci-après.

Équation 1 (UTCATF)

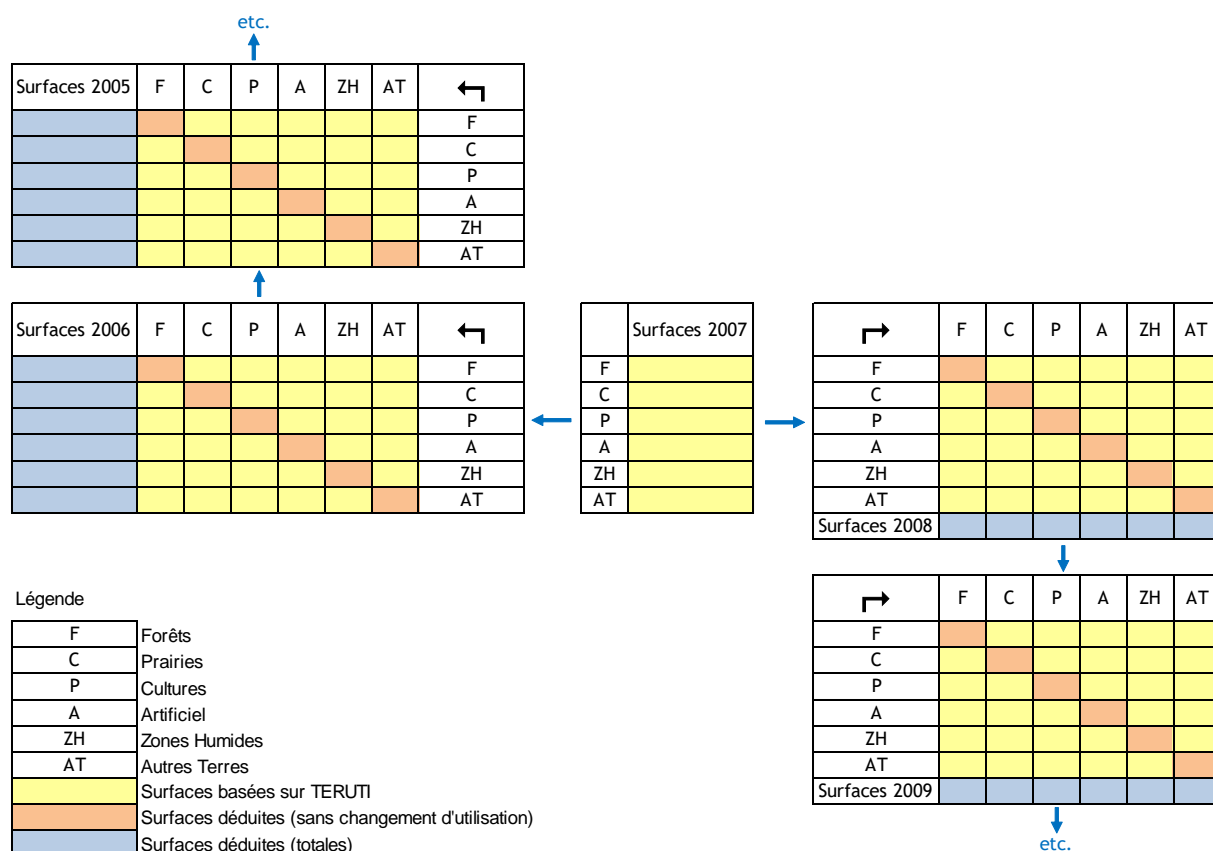
$$\text{Avant 2007 : } A_{i,a} = A_{i,a+1} - \sum_j [A_Gains_{i,j,a}] + \sum_j [A_Pertes_{i,j,a}]$$

$$\text{Après 2007 : } A_{i,a} = A_{i,a-1} + \sum_j [A_Gains_{i,j,a}] - \sum_j [A_Pertes_{i,j,a}]$$

Avec :

$A_{i,a}$	= Surfaces pour l'occupation i, à la fin de l'année a
$A_{i,a-1}$	= Surfaces pour l'occupation i, à la fin de l'année a-1
$A_{i,a+1}$	= Surfaces pour l'occupation i, à la fin de l'année a+1
$A_Gains_{i,j,a}$	= Surfaces gagnée par l'occupation i, au dépend de l'occupation j, durant l'année a
$A_Pertes_{i,j,a}$	= Surfaces perdues par l'occupation i, au profit de l'occupation j, durant l'année a

Tableau 151 : Illustration du protocole d'estimation des surfaces à partir des surfaces de l'année 2007



L'intégralité des matrices 1 an et 20 ans utilisées dans l'inventaire est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Suivi des terres en Outre-Mer (inclus dans l'UE et le Protocole de Kyoto)

En Outre-mer, les systèmes de collecte de données diffèrent de la métropole : des travaux spécifiques sont donc réalisés pour chacun des territoires couverts. Le suivi des territoires d'Outre-mer périmètre Kyoto est réalisé à partir de travaux de télédétection.

Données

Guyane

Des travaux spécifiquement menés pour les besoins de l'inventaire [327, 382, 673] sont utilisés comme données sources. Ils permettent de quantifier les changements d'utilisation des terres entre 1989 et 2008, en particulier les défrichements liés aux abattis (culture itinérante sur brûlis) et à l'orpaillage. Ces travaux se basent sur la classification de points d'échantillonnage par interprétation visuelle d'images satellitaires datées de 1989, 2008 et 2012, avec une stratification conforme aux recommandations du Giec. La nomenclature du Giec, en 6 catégories, est utilisée.

Le travail d'échantillonnage n'ayant pas été mis à jour après 2012, une nouvelle méthode est mise en place pour actualiser la donnée de déforestation sur la période récente. Cette dernière se base sur un produit satellite (Vancutsem et al. 2021 [1201]). Ce produit fournit des informations uniquement pour les surfaces forestières, grâce au renseignement de l'évolution nette du couvert forestier par sous-périodes de 5 ans entre 2000 et 2020. L'analyse de ce produit permet de déduire des taux de déforestation annuels moyens pour les différentes sous-périodes. Le taux de boisement considéré est une extrapolation du taux historique, puis la valeur de déboisement du produit satellite

est estimée en comparant la valeur d'évolution nette du couvert forestier avec cette donnée de boisements. Le taux de déboisement obtenu est recalé sur le taux historique des précédents travaux pour les années communes aux deux données (2010-2012). Le nouveau taux post 2012 est ensuite déduit.

Méthode de construction des données d'occupation du sol de la Guyane avant 2012

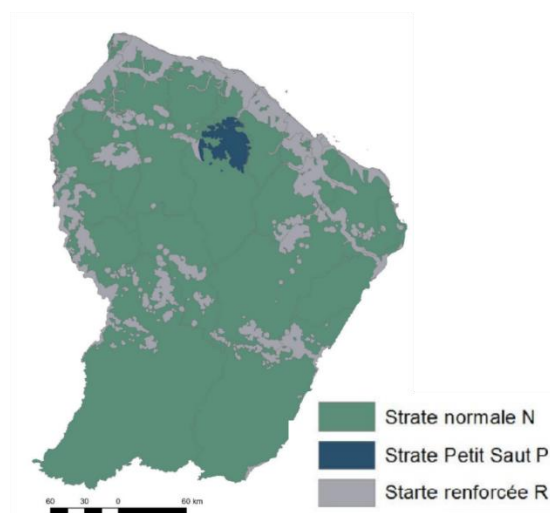
Ces études sont basées sur la photo-interprétation d'images LANDSAT et SPOT qui ont donc préalablement été acquises puis traitées (spatio-triangulation, orthorectification, dénuagement, mosaïquage). En raison de la petite taille des surfaces à observer (entre 0,5 et 1,5 ha) au vu de la surface forestière guyanaise et de la définition des images satellites, une **stratification** a également été réalisée. Trois strates ont ainsi été créées [673] :

- Une strate dite « renforcée » (R) qui réunit l'ensemble des zones où la pression anthropique est forte et où la probabilité d'une modification de l'occupation du sol est la plus élevée. Les mangroves sont incluses dans cette strate qui possède un taux de sondage élevé.
- Une strate dite « normale » (N) dans laquelle les changements d'occupation du sol sont très rares, voire absents. Cette strate possède un taux de sondage faible mais néanmoins suffisant pour détecter avec plus de neuf chances sur dix des changements de surface supérieurs à 10 000 hectares.
- Une strate P dite « de Petit Saut » afin de traiter le cas particulier du barrage de Petit Saut. Ce barrage a été mis en eau en 1995, ce qui a eu pour conséquence une surface déboisée exceptionnelle. Ainsi, afin d'individualiser les changements d'affectation des terres consécutifs à cette mise en eau, une strate spécifique a été constituée, avec un taux de sondage équivalent à celui de la strate renforcée.

Le schéma d'échantillonnage mis en place est ainsi conforme aux recommandations du GIEC sur trois points : i. échantillonnage systématique ; ii. placettes d'observation permanentes (le même échantillon est observé et interprété en 1990, 2006 et 2008) ; iii. stratification de l'échantillonnage à l'aide de données auxiliaires.

Le suivi d'occupation des sols et de changement d'occupation des sols est réalisé par interprétation visuelle (photo-interprétation) des images satellitaires de 1989, 2008 et 2012 (soit 16 786 points interprétés). Ainsi, pour chaque point du plan d'échantillonnage, une classe d'occupation du sol parmi les 6 classes définies par le GIEC, est attribuée, pour chacune des années (1990 en utilisant l'imagerie Landsat et 2006 et 2008 en utilisant les données SPOT). La surface prise en compte pour l'appréciation de l'utilisation du sol autour d'un point est une placette circulaire de 0.5 ha centrée autour du point échantillon.

Figure 158 : Représentation des 3 strates d'échantillonnage pour le suivi des terres en Guyane français



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'orpillage, 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 « Autre terres ».

Tableau 152 : 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 TerUtilucas, en réaffectant les catégories de la nomenclature initiale vers les six catégories Giec, en cohérence avec la table de correspondances utilisée pour la Métropole.

Mayotte

Il n'existe pas de travaux de suivi d'occupation des terres par télédétection et photo interprétation à Mayotte. Les matrices d'occupation des terres de Mayotte ont donc été construites en combinant plusieurs sources d'information [789, 790 et 791].

Saint-Martin

Les surfaces de Saint Martin (partie française) sont estimées d'après les données de l'ESA CCI-LC (Climate Change Initiative land cover version 2.0.7 1955-2015)[1054]. Aucun changement d'utilisation n'est compatibilisé.

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 153 : 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 154 : 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 155 : 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 156 : 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 157 : 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 158 : 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 159 : 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	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 Kyoto)

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 compatible.

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 autres territoires d'Outre-Mer sont considérées sans changement. Ainsi, les surfaces estimées sont les mêmes pour toutes les années de la période de rapportage.

Les données disponibles, complétées ci-besoin d'hypothèses, sont utilisées pour estimer les surfaces annuelles (sans évolution). Les catégories initiales sont converties dans le système des catégories Giec, en précisant le type de forêt, d'après les tables de correspondance suivantes :

Nouvelle-Calédonie

Catégorie initiale	Catégorie finale
Forêt dense sempervirente	Forêt feuillue
Formation à Niaoulis	Forêt feuillue
Formations forestières diverses	Forêt mixte
Maquis	Prairies
Fourrés	Prairies
Savane	Prairies
Autres	Réparti dans les autres catégories (Artificiel, Cultures, Zones humides, Autres terres) selon des hypothèses distinguant Grande Terres et autres îles.

Wallis et Futuna

Catégorie initiale	Catégorie finale
Forêt dense, Vao	Forêt feuillue
Cocotiers	Forêt feuillue
Forêt claire	Forêt feuillue
Toafa ("désert" et landes)	Autres Terres
Pinus (dont plantations)	Forêt résineux
Vivrier	Cultures
Tarodière	Cultures
Autres (Zones habitées...)	Artificiel
Sols nus	Autres Terres
Lacs	Zones Humides
Mangroves	Zones Humides

Polynésie française

Catégorie initiale	Catégorie finale
Plantation coco	Forêt feuillue
Plantation Pin	Forêt résineux
Plantation protection	Forêt mixte
Plantation f. précieux	Forêt feuillue
Forêts I et II	Forêt mixte
Solde	Réparti dans les autres catégories (Artificiel, Cultures, Zones humides, Autres terres)

Résultats

Les surfaces annuelles (sans changement) de 1970 à l'année inventoriée, pour chaque territoire d'Outre-Mer hors UE, sont les suivantes :

en ha	Nouvelle-Calédonie	Wallis et Futuna	Polynésie	St-Pierre et Miquelon	Clipperton	TAAF	St-Barth.	Total
Forêt feuillue	602 595	10 190	50 391	0	0	0	600	663 776
Forêt résineux	0	452	6 096	3 000	0	0	0	9 548
Forêt mixte	114 000	0	195 276	0	0	0	0	309 276
Cultures	33 925	570	25 084	0	0	0	0	59 579
Prairies	999 150	0	0	3 630	0	0	600	1 003 380
Zones humides	6 613	61	0	7 260	7 200	0	0	21 134
Artificiel	23 863	1 321	25 084	1 210	0	0	960	52 438
Autres Terres	67 850	1 702	50 169	9 100	1 700	439 677	240	570 438
Total	1 847 995	14 296	352 100	24 200	8 900	439 677	2 400	2 689 568

L'intégralité des surfaces d'utilisation des terres et de changement d'utilisation des terres utilisées dans l'inventaire est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Méthodes et définitions des réservoirs de carbone

L'inventaire UTCATF de la France estime les flux de gaz à effet de serre entre tous les réservoirs de carbone définis par les lignes directrices du Giec.

Contexte : lignes directrices du Giec

Pour l'inventaire UTCATF il est demandé d'estimer l'ensemble des flux de carbone intervenant entre différents réservoirs de carbone afin d'estimer les flux de CO₂ qui ont lieu entre les terres et l'atmosphère. Ces réservoirs sont :

- la biomasse vivante aérienne,
- la biomasse vivante souterraine,
- le bois mort,
- la litière,
- le carbone organique du sol
- les produits ligneux récoltés

Pour appréhender ce système, le GIEC présente deux méthodes :

- **la méthode des flux.** Elle nécessite d'estimer directement les flux bruts entrant et sortant d'un réservoir, ce qui revient par exemple à estimer les accroissements forestiers (flux entrant du réservoir biomasse vivante) et les récoltes (flux sortant du réservoir biomasse vivante). Cette méthode permet de connaître également l'évolution du réservoir en question, la biomasse vivante dans cet exemple.

*Équation 2 (UTCATF)
(inspirée de l'équation 2.7 du GIEC 2006 [672])*

$$\Delta C = \sum_{ijk} [A_{ijk} \bullet (CI - CL)_{ijk}]$$

Avec :

ΔC	=	Variation de stock de carbone du réservoir, t C/an
A	=	Surface de la terre, ha
ijk	=	Indices correspondant aux climat i, type de forêt j, type de gestion k, etc.
CI	=	Gain en carbone, t C/ha/an
CL	=	Perte de carbone, t C/ha/an

- **La méthode des variations de stocks.** A partir de valeurs de stocks connues à deux moments différents pour un réservoir de carbone, il est possible de déterminer le flux net de carbone pour ce réservoir. Cette méthode permet de manière indirecte de connaître les flux bruts mais nécessite de faire des hypothèses complémentaires.

*Équation 3 (UTCATF)
(inspirée de l'équation 2.8 du GIEC 2006 [672])*

$$\Delta C = \sum_{ijk} (Ct_2 - Ct_1) / (t_2 - t_1)_{ijk}$$

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.

Biomasse vivante aérienne

Définition

La biomasse vivante aérienne inclut les parties aériennes de tous les organismes vivants, néanmoins, en forêt, seules les essences arborées recensables (diamètre > 7,5 cm à la hauteur de 1,3 m) sont prises en compte dans l'inventaire, cela exclut les espèces ligneuses du sous-bois, la flore herbacée et les plantes annuelles.

La biomasse vivante aérienne est évidemment un des réservoirs clé du secteur UTCATF. Elle peut constituer des stocks très importants en particulier dans le bois des arbres forestiers et peut fluctuer de manière rapide en fonction de la gestion associée.

Données

Biomasse forestière

Dans l'inventaire français, la majorité des informations relatives à la biomasse vivante aérienne forestière provient de l'inventaire forestier national réalisé par l'IGN.

L'IGN fournit ainsi des données de flux, en tonnes, de la production, mortalité, et prélèvements en forêt. Ces données sont présentées dans la section forêt (section § 2.2.2).

Par ailleurs, pour estimer les émissions liées aux défrichements, des valeurs de stocks forestiers moyens perdus lors de défrichements sont utilisés. Il ne s'agit pas des stocks moyens en forêt mais des stocks perdus lors d'un défrichement. Pour la métropole, ils sont issus de données IFN [202] qui estiment, pour les années 1990 à 2006, le stock de carbone dans la biomasse sur les terres qui ont

ensuite été défrichées. Ces données n'étant plus disponibles, les valeurs de stock de 2006 sont ensuite utilisées pour les années suivantes.

Tableau 160 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne des terres forestières

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
France métropolitaine (5 interrégions)	Centre-est	66	52	56	44	Inventaire forestier national (IGN) [202]
	Nord-est	59	52	56	37	
	Nord-ouest	61	52	56	37	
	Sud-est	34	52	56	35	
	Sud-ouest	48	52	56	24	
Outre-mer inclus dans le Protocole de Kyoto (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

Biomasse non-forestière

Les flux de carbone (croissance, mortalité, prélèvements) en biomasse hors forêt pour les terres sans changement sont estimés à l'équilibre en métropole et en Outre-mer (voir section 2.1.1.1).

En métropole, les stocks de carbone en biomasse hors forêt sont estimés à partir de différentes sources :

- En zones arborées (« 213-bosquet » ; « 513-zone artificielle arborée ») les stocks sont assimilés à ce ceux de la forêt mixte de la même région.
- En prairie en herbe (« 212 ») et en culture annuelle (« 312 »), les stocks de biomasse sont estimés à zéro.
- En prairie arbustive (landes, maquis, garrigue...« 215 »), pour la biomasse non ligneuse la valeur issue du Giec (2006, vol 4. Chap 6, table 6.4) de 13,5 t MS/ha est utilisée : Prairie arbustive : $13,5 \text{ t MS/ha} \times 0,5 \text{ tC/tMS} / 1,3 \text{ (aérien/total)} = 5,2 \text{ tC aérien/ha}$.
- Pour les cultures pérennes et ligneuses (vergers, vignes), une étude de 2009 commandée par l'Ademe et réalisée par l'IFN, le FCBA et Solagro [493] fournit les données suivantes : « en verger semi intensif (1 000 à 1 500 arbres/ha), le plus répandu en France, le poids unitaire de la partie aérienne est d'environ 45 kg de bois frais en fin de cycle, soit une quantité de bois évaluée à 25 tMS/ha ». [493, p. 61]. « Nous retiendrons la valeur de 2 kg de bois par cep à 15% d'humidité [soit 85% de MS] (...) Nous avons retenu la densité moyenne de 5 000 ceps/ha » [493, p. 60]. Ces valeurs converties en tC/ha donnent pour les vergers : $25 \text{ tMS aérienne /ha} \times 0,5 \text{ tC/tMS} = 12,5 \text{ tC aérien /ha}$ et pour les vignes : $5000 \text{ ceps} \times 2 \text{ kg/cep} \times 85\% \text{ MS} \times 0,5 \text{ tC/tMS} = 4,3 \text{ tC aérien /ha}$.

Tableau 161 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante aérienne hors forêt (Métropole)

	Zone arborée	Zone arbustive	Zone herbacée	Zone nue	Source de données
Prairies	Idem forêt	5	0		Estimation
Cultures	12 (vergers)	4 (vignes)	0 (cultures annuelles)		[493]
Zones humides				0	Estimation
Zones artificialisées	Idem forêt		0	0	Estimation
Autres terres	n.d	n.d	n.d	n.d	

n.d : non déterminé

En Outre-mer, le stock de biomasse vivante est estimé à partir du Giec (2006) :

- En culture : 10 tC/ha (Giec, 2006, Table 5.9)
- En prairie : $16,1 \text{ tMS/ha (2006, Table 6.4)} \times 0,5 \text{ (tC/tMS)} = 7,6 \text{ tC/ha}$

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.

Tableau 162 : 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

Biomasse vivante souterraineDéfinition

La biomasse vivante souterraine inclut l'ensemble des racines à l'exception des racines fines prises en compte dans la litière et le carbone organique du sol.

Données

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 provenant de l'étude Carbofor [204] pour la métropole; et de l'ONF [386] pour l'Outre-Mer.

Résultats

Les valeurs obtenues avec les facteurs d'expansion sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 163 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la biomasse vivante racinaire des terres forestières

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
France métropolitaine (5 interrégions)	Centre-est	20	16	17	13	Inventaire forestier national (IGN) [202]
	Nord-est	18	16	17	11	
	Nord-ouest	18	16	17	11	
	Sud-est	10	16	17	11	
	Sud-ouest	14	16	17	7	
Outre-mer inclus dans le Protocole de Kyoto (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

Bois mortDéfinition

On considère trois origines au bois mort : la mortalité naturelle des arbres sur pied, la mortalité exceptionnelle en cas de tempêtes (chablis) et l'abandon des résidus de récolte de bois lors de l'exploitation des parcelles forestières. La création ou la disparition d'un stock de bois mort lors d'un boisement ou d'un déboisement est aussi comptabilisée.

Données

Les données de l'IGN [202] de mesures des stocks de bois mort, combiné à une estimation de leur date de mortalité permettent d'estimer la mortalité des arbres sur pied en forêt en Métropole. Le bois mort reste principalement, d'après l'IGN, lié à la compétition (élagage naturel) et non à la sylviculture. Aucune donnée n'est mobilisée pour les flux de mortalité de l'Outre-Mer.

Les données de l'IGN ont permis de quantifier la mortalité exceptionnelle liée aux tempêtes de 1999 et 2009 qui ont modifié fortement les stocks de bois mort en forêt.

Le Guide du Giec [1996 5.31 ; 2006 [672] ch.4 encadré 4.2, valeur par défaut pour les feuillus] permet d'estimer à 10 % la part de la biomasse aérienne récoltée qui est abandonnée sur le site d'exploitation. Cette valeur a été jugée pertinente par les experts forestiers français.

Les stocks de bois mort, utilisés pour estimer la création ou la disparition d'un stock de bois mort lors d'un boisement ou d'un déboisement, sont estimés en métropole à 1 tC/ha pour les peuplements feuillus et mixtes et à 2,5 tC/ha sous résineux et dans les peupliers [206]. 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 164 : Stocks de carbone (tC/ha) dans le bois mort des terres forestières

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
France métropolitaine		1,0	1,0	2,5	2,5	[206]
	Guyane	8,8	n.d	n.d	n.d	[328]
Outre-mer inclus dans le Protocole de Kyoto (5 régions)	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 feuilles mortes (exclues du réservoir sol), des couches humiques et des petites racines (exclues du réservoir biomasse vivante souterraine).

Données

Métropole

Peu d'études quantifient le stock moyen de carbone en litière forestière en France métropolitaine. Ce stock fragile est difficile à estimer. D'après Dupouey et al. (1999) [206], « le stock total des sols forestiers est de (...) 79 tC/ha. [...] La litière comprend 11 % de ce stock [...] », soit une valeur de :

$$79 \text{ tC/ha} * 11\% = 8,7 \text{ tC/ha} \approx 9 \text{ tC/ha.}$$

Outre-Mer

En Guyane, le stock de litière est estimé par l'ONF [328, p.22] d'après les travaux de Puig et al. (1988) [1997] à :

$$4,203 \text{ tMS/ha} * 0,5\text{tC/tMS} = 2,1 \text{ tC/ha} \approx 2 \text{ tC/ha.}$$

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 165 : Stocks de carbone (tC/ha) dans la litière des terres forestières

Périmètre	Région	Feuillus	Mixte	Résineux	Peupliers	Source de données
France métropolitaine		9,0	9,0	9,0	9,0	[206]
	Guyane	2,0	n.d	n.d	n.d	[328]
Outre-mer inclus dans le Protocole de Kyoto (5 régions)	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

Définition

Ce réservoir est constitué du carbone organique dans l'horizon 0-30 cm des sols. Le GIEC [672] subdivise les sols en deux grands types : minéraux et organiques. Les sols minéraux constituent la très grande majorité des sols de France. Les sols organiques sont assimilés aux sols en zone humide. Par ailleurs, les sols organiques (histosols) cultivés sont estimés en complément afin de calculer les émissions liées à leur drainage.

Les méthodes et données mises en œuvre pour le carbone des sols sont détaillées dans les sections suivantes ainsi que dans les parties spécifiques à chaque catégorie de terres.

Données

Mesure des stocks de carbone du sol (RMQS)

La France bénéficie d'un réseau de mesures de la qualité des sols nommé Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS), construit à l'initiative du groupement d'intérêt scientifique Sol (GIS Sol), qui regroupe les ministères en charge de l'agriculture et de l'environnement, l'ADEME, le SOeS et l'INRA. Le réseau RMQS repose sur le suivi de 2200 sites répartis uniformément sur le territoire français, selon une maille carrée de 16 km de côté. Des prélèvements d'échantillons de sols, des mesures et des observations sont effectués tous les dix à quinze ans au centre de chaque maille. L'ensemble des opérations réalisées sur un site est détaillé dans le Manuel RMQS. La première campagne de prélèvement en métropole s'est déroulée de 2000 à 2009. Dans le cadre de l'inventaire, les données de stock de carbone des sites RMQS, fournies par l'unité Infosol de l'INRA, ont pu être exploitées à différents niveaux [424].

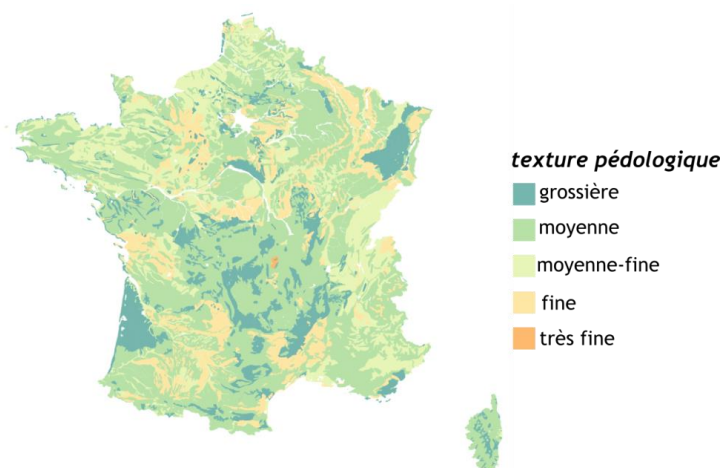
Carte des types de sol (BDGSF)

La Base de Données Géographique des Sols de France (BDGSF [719]) au 1/1 000 000, fournie par l'Inra (Unité InfoSol d'Orléans) provient de la Base de Données Géographique des Sols d'Europe au 1/1 000 000, réalisée en plusieurs étapes (correction, numérisation, harmonisation, structuration) entre 1974 et 1998 (en partie par l'Inra, à partir de la typologie internationale des sols proposée par la FAO). Cette terminologie a été adaptée pour prendre en compte des spécificités européennes. Chaque type de sol identifié a été groupé au sein d'unités paysagères, dont la délimitation a fait appel à des jugements d'experts plutôt qu'à des mesures. Parmi les champs descriptifs des sols, on trouve la texture dominante. Cette information est utilisée dans l'inventaire comme critère de définition d'un zonage pédologique (voir § 1.2.5.3.3).

Données sur les sols en Outre-mer

En Outre-mer, des estimations spécifiques sur les stocks de carbone du sol sont disponibles grâce aux études de l'ONF, aussi utilisées pour la biomasse [328, 386].

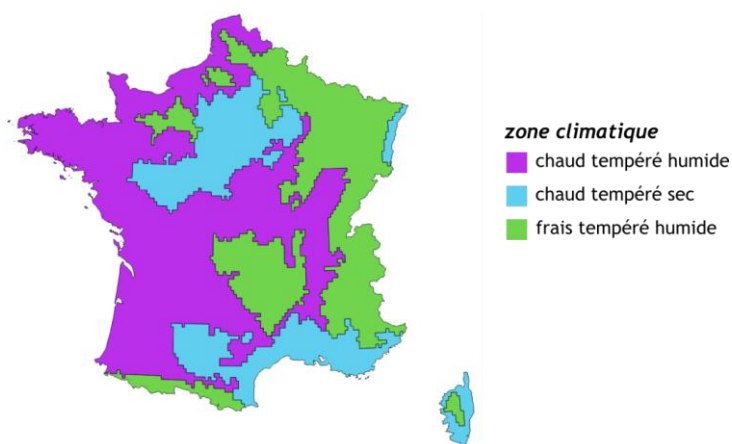
Figure 159 : Cartographie des zones pédologiques (basée sur la texture des sols) [719]



Carte des zones climatiques (JRC)

Le JRC a réalisé une cartographie des zones climatiques [722] en Europe pour l'ensemble des Etats-membres de l'Union européenne, pour les aider à améliorer leur méthodologie des inventaires, selon la classification Giec (2006), en prenant en compte divers paramètres : température, précipitation, potentiel d'évapotranspiration, relief. La carte pour la France réalisée dans ce cadre a été simplifiée par le Citepa avec un critère surfacique de manière à supprimer les pixels ou groupes de pixels isolés. Ainsi, les zones « frais tempéré sec » et « polaire humide » (quelques pixels en haute montagne) ont été intégrées à des ensembles plus larges.

Figure 160 : Cartographie des zones climatiques [722]



Méthode

Equation générale

Pour estimer la variation de stock de carbone organique du sol pour les sols minéraux, une méthode de variation de stock grâce à l'équation générique du GIEC [672] est appliquée :

Équation 4 (UTCATF)
inspirée de l'équation 2.25 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta C_{\text{Minéraux}} = \text{COS}_0 - \text{COS}_{(0-20)} / 20$$

$$\text{COS} = \text{COS}_{\text{REF}} \times F_{\text{UT}} \times F_{\text{RG}} \times F_{\text{A}} \times \text{Surface}$$

Avec :

ΔC = Variation de stock de carbone du réservoir, tC/an

$\Delta C_{\text{Minéraux}}$ = Variations annuelles des stocks de carbone des sols minéraux, tC / an

COS = Stock de carbone organique du sol l'année d'inventaire, tC

COS_{REF} = Stock de carbone de référence, tC/ha

F_{UT} = Facteur de variation de stock lié à l'utilisation des terres

F_{RG} = Facteur de variation de stock lié au régime de gestion (travail du sol principalement)

F_{A} = Facteur de variation de stock lié aux apports (organiques principalement)

Surface = Surface de la catégorie de terre concernée, ha

Stocks de carbone de référence (COS_{REF})

Les stocks de carbone du sol de référence (COS_{REF}) correspondent aux stocks de carbone natifs, sous végétation indigène, soit, en France, sous forêt. Les COS_{REF} utilisés correspondent donc aux stocks médians régionaux observés sous forêt par le RMQS [424] pour la métropole et par l'ONF [328, 386] pour l'Outre-Mer.

Tableau 166 : Stocks de carbone de référence pour les sols (sols forestiers)

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Périmètre	Région	tC/ha	Région	tC/ha	Source
France métropolitaine (22 régions)	Alsace	53	Île-de-France	49	Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) [424]
	Aquitaine	60	Languedoc-Roussillon	94	
	Auvergne	80	Limousin	87	
	Basse-Normandie	97	Lorraine	80	
	Bourgogne	77	Midi-Pyrénées	73	
	Bretagne	70	Nord-Pas-de-Calais	79	
	Centre	57	Pays de la Loire	59	
	Champagne-Ardenne	61	Picardie	59	
	Corse	81	Poitou-Charentes	61	
	Franche-Comté	88	Provence-Alpes-Côte d'Azur	84	
	Haute-Normandie	70	Rhône-Alpes	78	
Outre-mer inclus dans le Protocole de Kyoto (5 régions)	Guyane	100			[328]
	Guadeloupe	15			[386]
	Martinique	14			[386]
	Réunion	2			[386]
	Mayotte	64			[386]
Autres territoires		Non estimé			

Région	Stock de référence (COS _{REF}) sous végétation native (forêt)			
	Valeur utilisée (country-specific)		Valeur par défaut du Giec (non utilisée)*	
	tC/ha	Source	tC/ha	Source
France métropolitaine				
Alsace	53	Inra, Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) [424], en fonction des zones pédoclimatiques par région	85	Giec 2006 [672] table 2.3 + Zones climatiques [722]
Aquitaine	60		63	
Auvergne	80		85	
Basse-Normandie	97		63	
Bourgogne	77		85	
Bretagne	70		63	
Centre	57		63	
Champagne-Ardenne	61		85	
Corse	81		63	
Franche-Comté	88		85	
Haute-Normandie	70		63	
Île-de-France	49		63	
Languedoc-Roussillon	94		63	
Limousin	87		85	
Lorraine	80		85	
Midi-Pyrénées	73		85	
Nord-Pas-de-Calais	79		63	
Pays de la Loire	59		63	
Picardie	59		63	
Poitou-Charentes	61		63	
Provence-Alpes-Côte d’Azur	84		85	
Rhône-Alpes	78		85	
Outre-Mer inclus dans l’UE				
Guyane	100		60	[672] t.2.3 = LAC + Trop. Wet.
Guadeloupe	15		70	[672] t.2.3 = Volc. + Trop. Moist.
Martinique	14		70	[672] t.2.3 = Volc. + Trop. Moist.
Mayotte	64		60	[672] t.2.3 = LAC + Trop. Wet.
La Réunion	2		70	[672] t.2.3 = Volc. + Trop. Moist.
Saint-Martin	n.e.		70	[672] t.2.3 = Volc. + Trop. Moist.
Outre-Mer hors UE		Actuellement non estimé		

* Les valeurs par défaut du Giec sont obtenues en croisant, (d'après la table 2.3 du Giec), le *type de sol* et la *zone climatique*. Ces valeurs par défaut, utiles pour une approche de niveau 1 (tier 1), ne sont pas utilisées car une approche de niveau 2 (tier 2) est utilisée dans l'inventaire, à partir de valeurs nationales spécifiques de stocks de carbone de référence

Facteur de variation de stock lié à l'utilisation des terres (FUT)

Le GIEC propose des valeurs par défaut pour le paramètre F_{UT} pour les cultures ($F_{UT} = 0.69$) et les prairies ($F_{UT} = 1$). Ces valeurs par défaut ne sont cependant pas utilisées pour estimer l'impact des changements d'utilisation des terres dans l'inventaire français. En effet le paramètre F_{UT} est estimé de manière beaucoup plus précise à partir des données du réseau de mesure de la qualité des sols

(RMQS) pour les cultures et les prairies. L'approche utilisée pour estimer ce réservoir correspond donc à une méthode de niveau 2.

Pour les cultures et les prairies, les F_{UT} sont calculés à partir des stocks de carbone des sols observés par le RMQS en forêts, cultures et prairies sur des zones pédoclimatiques homogènes.

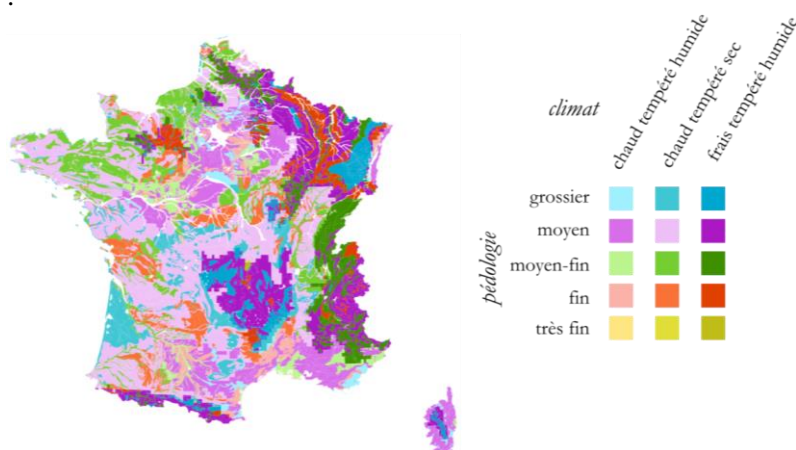
Méthode de construction des zones pédoclimatiques par le Citepa

Ces zones pédoclimatiques ont été définies selon les principes du GIEC [672], en croisant :

- la cartographie des types de sols [719] distinguant 5 niveaux de texture (1 = grossière ; 2 = moyenne ; 3 = moyenne fine ; 4 = fine ; 5 = très fine) (§1.2.5.2.2)
- la cartographie des zones climatiques [722] distinguant 3 types de climats (1 = chaud tempéré humide ; 2 = chaud tempéré sec ; 3 = frais tempéré humide) (§1.2.5.2.3)

En croisant ces trois cartes, une cartographie avec 15 zones pédoclimatiques, redécoupées par région administrative, a donc été construite :

Figure 161 : Cartographie des zones pédoclimatiques



Pour chacune des 15 zones pédoclimatiques, l'INRA calcule à partir du RMQS [424] le stock moyen pour les occupations suivantes : Cultures, Prairies et Forêt. Au sein de chaque zone pédoclimatique, la différence de stock entre deux occupations différentes est essentiellement liée à cette différence d'occupation et non pas à des critères pédoclimatiques.

Tableau 167 : Stocks de carbone moyens selon les caractéristiques des zones pédoclimatiques en France métropolitaine (tC/ha)

Texture	Climat	Occupation		
		Culture	Prairie	Forêt
Grossière	chaud tempéré humide	47	74	68
	chaud tempéré sec	36	49	47
	frais tempéré humide	71	96	82
Moyenne	chaud tempéré humide	50	69	60
	chaud tempéré sec	43	55	83
	frais tempéré humide	52	89	79
Moyenne-fine	chaud tempéré humide	51	75	66
	chaud tempéré sec	39	63	56
	frais tempéré humide	55	97	93
Fine	chaud tempéré humide	48	84	83
	chaud tempéré sec	39	37	68
	frais tempéré humide	54	87	81

Les différentiels de stock observés dans les zones pédoclimatiques dans chacune des régions sont ensuite combinés pour estimer un paramètre F_{UT} spécifique à chaque région pour les cultures et les prairies à partir de l'équation suivante.

$$\text{Equation 5 (UTCATF)} \\ F_{UT(o,r)} = \sum_z (\text{Surface}_{z,r} \times (\text{COS}_{o,z} / \text{COS}_{\text{foret},z}) / \text{Surface}_r)$$

Avec :

$F_{UT(o,r)}$ = Facteur de variation pour l'occupation o (culture / prairie) dans la région r , sans dimension

$\text{Surface}_{z,r}$ = Surface de la zone pédoclimatique z dans la région r , ha

Surface_r = Surface de la région r , ha

$\text{COS}_{o,z}$ = Stock de carbone pour l'occupation o (culture / prairie) dans la zone pédoclimatique z , tC/ha

COS_{foret_z} = Stock de carbone pour la forêt dans la zone pédoclimatique z, tC/ha

Pour les « terres urbanisées », les terres humides et les « autres terres », le RMQS ne dispose pas de mesures représentatives. Le paramètre FUT est donc estimé différemment sur ces catégories de terres. Pour les sols urbains (sols nus et revêtus, enherbés, arborés), des valeurs spécifiques de stock de carbone issues de la littérature scientifique sont utilisés [721]. Aucun stock spécifique n'est pris en compte pour les « zones humides » et les « autres terres » (roches, sable, etc.).

Facteurs de variation liés à la gestion (FRG) et aux apports (FA)

Pour les terres sans changement d'utilisation, des variations de stock de carbone du sol sont calculées pour les « terres cultivées restant terres cultivées » et les « prairies restant prairies ». Les méthodes associées et les paramètres F_{RG} et F_A utilisés sont présentés de manière détaillée dans les parties relatives aux terres cultivées et aux prairies. Pour les autres terres sans changement d'utilisation les stocks de carbone du sol sont considérés à l'équilibre et aucune émission n'est calculée.

Pour les terres avec changement d'utilisation des terres, l'équation de base est simplifiée pour ne prendre en compte que les effets liés au changement d'utilisation des terres. Par conséquent, pour ces terres avec changement, $F_{RG} = 1$ et $F_A = 1$.

Méthode de calcul pour les sols organiques drainés

Les émissions liées au drainage des sols organiques sont estimées en culture et en prairie sur la base du GIEC 2013 [923] avec des facteurs d'émissions différents pour la métropole et l'Outre-mer du fait des différences de climat.

Tableau 168 : Paramètres de calcul pour les sols organiques (histosols) drainés.

	Métropole		Outre-Mer	
	Culture	Prairie	Culture	Prairie
FE CO2 direct	7,9 tC-CO2/ha/an	3,6 tC-CO2/ha/an	14 tC-CO2/ha/an	9,6 tC-CO2/ha/an
FE CO2 indirect	0,3 tC-CO2/ha/an (0.21*0,6*0.9)		0,8 tC-CO2/ha/an (0.57*0,6*0.9)	
FE CH4	0 kgCH4/ha/an	39 kgCH4/ha/an	7 kgCH4/ha/an	7 kgCH4/ha/an
Surfaces	80 280 ha	58 457 ha	159 ha	159 ha

Sources : IPCC 2013, tables 2.1, 2.2, 2.3. Note : le N2O est rapporté en agriculture

Résultats

Métropole

Tableau 169 : Moyenne des F_{UT} régionaux utilisés (Minimum et Maximum entre parenthèses).

\rightarrow	Artificiel (nu, revêtu, bâti)	Cultures	Forêt, vergers et artificiel arboré	Prairie et artificiel enherbé	Zones humides	Autres terres
Artificiel (nu, revêtu, bâti)	1	1.71 (1.36-1.92)	2.24 (1.82-2.72)	2.41 (1.60-3.02)	1	1
Cultures	0.59 (0.52-0.74)	1	1.45 (1.24-1.73)	1.46 (1.18-1.61)	1	1
Forêt, vergers et artificiel arboré	0.45 (0.37-0.55)	0.70 (0.58-0.81)	1	1.03 (0.71-1.15)	1	1
Prairie et artificiel enherbé	0.42 (0.33-0.62)	0.69 (0.62-0.84)	0.98 (0.87-1.41)	1	1	1
Zones humides	1	1	1	1	1	1
Autres terres	1	1	1	1	1	1

6.3.2 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour la section générique UTCATF et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
LULUCF	4. General (LULUCF) - CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O (L.4, 2019) (L.4, 2017) (L.22, 2016) (L.22, 2015) Transparency	Report in the NIR complete information on data sources, assumptions and methodologies used. In particular, ensure that the following information is reported: (b) The time series 1971-1989 of the land use and land-use change matrix (equivalent to CRF table 4.1); (k) For each natural disturbance type, the time series from 1990 to the latest reported year of areas of forest land subject to natural disturbances disaggregated at the level of regions and forest types applied for calculating the national total biomass gross annual increment; (l) The time series from 1990 to the latest reported year of the total harvested wood subdivided by land of origin (i.e. metropolitan France and overseas territories), and land use of origin (i.e. forest land, possibly subdivided between FM and AR lands, cropland and grassland); (q) Information on EFs to clarify the timing of collection, the methodology applied for data collection, the method (including any assumption and equation) applied for the elaboration of EFs from rough data;	The Party reported that the requested information has been partly been added into its NIR 2020. During the review, the Party clarified that: (b) Information was added in annex of the NIR 2020 and on p.589. However, France did not provide the required time series in the NIR or an annex to it. During last review, the Party explained that information is available back to 1982 and that the period 1971-1982 is extrapolated using an average land-use change area from 1982 and 1989, and that from this extrapolation, the matrices and land representation are constructed. (k) During the review, the Party reported that the expected detail is very high and is actually not available, so not included in the NIR. However, during the review, the Party provided the ERT with some background documents, in which this information was provided, from 1990, at the disaggregated level of regions and forest types. (l) During the review, the Party reported that the expected detail is very high and is actually not available, so not included in the NIR, but the Party provided the ERT with detailed information on the disaggregated information about Harvested Wood Products. (q) The Party indicated that they have improved the transparency about the forest land in the NIR since this	2021 Review PMF* / L.3	Implemented. (b) Time series were provided in required time in the file "LULUCF_background.xlsx" (in spreadsheet named "Area1 History"). This file was part of the submission 2021 with the NIR and CRF tables as a complementary annex. Therefore this issue should be considered as resolved. (k) In the same file "LULUCF_background.xlsx", information about wildfires per region and per year is also available. This is currently the only natural disturbance that has a background level estimated. Therefore this issue should be considered as resolved. (l) Disaggregated information about harvestwood products is available in the same file "LULUCF_background.xlsx", but not with all the specific details requested here. (q) a figure showing NFI 5-years campaigns has been provided in the latest NIR submission 2022.

			recommendation. In addition, during the review, the ERT was provided with a summary table for the next NIR submission in order to provide better insights at the NFI data.		
LULUCF	4. General (LULUCF) - CO ₂ and N ₂ O (L.8, 2019) (L.10, 2017) (L.25, 2016) (L.25, 2015) Accuracy	Apply the IPCC default SOC values and SOC change factors for those territories (e.g. overseas territories), for which country-specific factors have not been calculated.	The Party reported that this has not yet been addressed. During the review, the Party clarified that actually the use of IPCC default is implemented when no country specific value is available. SOCref (forest) is based on country specific values, and SOC for other categories is based on IPCC default Forest and Land use (FLU) or on specific hypothesis when default IPCC values are not relevant. For all these cases, data is now available to estimate SOC for cropland and grassland, and the Party will consider, if relevant, to use them in the future to better estimate FLU based on country-specific data. Overall, the specificities of these territories make it difficult to always apply directly the same hypothesis and default values.	2021 Review PMF* / L.5	not resolved yet, partially implemented

LULUCF	4. General (LULUCF) - CO ₂ and N ₂ O (L.30, 2019) Transparency	France did not provide the methodology and input factors (e.g. carbon stock change) used for calculating the emissions/removals resulting from carbon stock changes (CO ₂) and associated mineralization (N ₂ O) in mineral soils for all land conversions for the overseas territories. During the review, the Party indicated that the emissions/removals for the overseas territories included in the Kyoto Protocol were estimated and included in the national total for the respective reporting categories.	The Party reported in its NIR (p.605) some methodological descriptions and assumptions for the overseas territories. During the review, the Party clarified that it was not implemented as presented in the recommendation, but most of the details are in the NIR. Carbon stock change approach for forest land converted to other categories has been explained. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet included all assumptions and carbon stock change factors used.	2021 Review PMF* / L.18	Implemented. All soil carbon parameters for overseas territories are presented in the NIR 2022 (general section - mineral soils) and assumptions for cropland remaining cropland and for grassland remaining grassland in overseas territories are presented in the NIR in Cropland and Grassland chapters.
LULUCF	4(l) Direct N ₂ O emissions from N input to managed soils - N ₂ O (L.40, 2019) Completeness	Estimate N ₂ O emissions from nitrogen fertilization in forest land, or if the volumes of fertilizer cannot be distinguished from those reported under the agriculture sector (cropland and grassland), report all the emissions under the agriculture sector and indicate in the documentation box to CRF table 4(l) and in the NIR where these emissions are reported. The ERT also recommends that the Party ensure that the description of the use of the notation keys in the NIR matches their actual use in the CRF tables.	The Party reported that this has not been done. During the review, the Party clarified that fertilization of land other than cropland and grassland is currently not estimated in the inventory. The notation key harmonization between the NIR and the CRF tables will be considered in future submissions.	2021 Review PMF* / L.27	Not resolved yet. Will be partially implemented in March 2022 submission with the CRF table notation keys

LULUCF	4(III) Direct N2O emissions from N mineralization/ immobilization - N2O (L.41, 2019) Completeness	Provide in CRF table 4(III) and in the NIR estimates for N2O emissions due to mineralization associated with carbon stock changes in soils in grassland remaining grassland using the carbon stock changes reported in CRF table 4.C.	The Party reported that the emissions were calculated to show that it can be judged negligible and reported as not estimated in the NIR. Eventually the Party expects to report this emission by quantitative estimates. There was no time for the calculation this year though. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet provided the estimates in the CRF tables and encourage the Party to do so in a next submission.	2021 Review PMF* / L.28	Implemented. Note that N2O emissions from grassland remaining grassland due to mineralization do not occur for all years. These emissions are estimated only when grassland remaining grassland are a source due to changes in practices.
LULUCF	Land representation - CO2 and N2O (L.12, 2019) (L.33, 2017) Accuracy	Identify land representation of croplands accurately in order to report emissions/removals taking into account the 20-years transition period for land conversions. In doing so, depending on available resources, consider (1) improving the spreadsheets for allocation of the known total organic soils area across all relevant land-use subcategories; or (2) linking land use and soils by implementing approach 3 for land representation provided in the 2006 IPCC Guidelines through enhanced use of TERUTI-LUCAS (http://agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes/territoire-prix-des-terres/teruti-lucas-utilisation-du/) spatial features (e.g. either rely on TERUTI-LUCAS soil information or match its spatial grid with (organic) soils map and derive grid plots where organic soils occur, then improve the land-use conversion matrix	The Party reported that this has not yet been addressed	2021 Review PMF* / L.6	not resolved yet

		with this information).			
LULUCF	Cropland converted to other land uses - CO2 (L.19, 2019) (L.20, 2017) (L.19, 2016) (L.19, 2015) (103, 2014) Completeness	Provide estimates of biomass losses from conversion of perennial crops to other land uses (including cropland converted to wetlands, settlements and other land).	The Party reported estimated biomass loss from the conversion of perennial crops to other land uses (including cropland converted to wetlands and settlements) p. 579, except for other lands, for which all categories are reported as "NE". During the review, the Party explained that the reported emission/removal estimates include both the metropolitan territory and the overseas territories. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet reported the biomass losses from all categories.	2021 Review PMF* / L.11	not resolved yet

6.3.3 Améliorations envisagées

L'UTCATF est un secteur complexe et beaucoup d'améliorations sont encore envisageables pour augmenter la précision des estimations.

Suivi des terres en métropole

Les données TerUti présentent des artefacts importants qui nécessitent des retraitements et corrections. La pertinence des surfaces de changements d'utilisation des terres actuellement estimée présente donc de fortes incertitudes (Robert, 2016) [721]. Une approche spatialement explicite plus fine pourrait utiliser une ou plusieurs sources de données à haute résolution spatiale et thématique, tirant parti des avancées technologiques dans ce domaine et des nouvelles données d'occupation du sol disponibles (Corine Land Cover 1990, 2000, 2006, 2012, 2018 ; Urban Atlas 2006, 2012, 2018 ; OSO 2011 à 2018...). Cette approche spatialement explicite permettrait d'améliorer la cohérence de l'inventaire UTCATF (notamment en superposant des données sur les sols, la biomasse, etc. aux surfaces d'utilisation des terres et de changement d'utilisation des terres), d'identifier précisément les surfaces des activités du Protocole de Kyoto (afforestation, déforestation...), de clarifier les forêts gérées et non gérées... Des premières réflexions ont été menées : une thèse (Robert, 2016 [721]) et un mémoire (Sampère, 2017 [988]) ont permis d'avancer dans les pistes envisageables. Un chantier important est désormais en cours pour parvenir à la mise en place d'une approche spatialement explicite pour le début du rapportage des émissions et absorptions dans le cadre du règlement UTCATF européen (UE 2018/841). L'inventaire édition 2023 sera réalisé sur la base de cette nouvelle approche.

Suivi des surfaces de forêt en métropole - cohérence entre TerUti et l'IFN

Le système de suivi des terres basé sur les données TerUti utilise un dispositif d'échantillonnage différent de celui de l'Inventaire Forestier National (IFN). Par conséquent, les surfaces de forêt ne

sont pas exactement les mêmes entre ces deux sources. Afin de concilier les résultats de l'inventaire de gaz à effet de serre et les résultats de l'inventaire forestier, ce sont les surfaces forestières issues de l'IFN qui sont utilisées pour estimer les principaux paramètres de calcul des flux de carbone forestier, bien que soient les surfaces issues du suivi TerUti qui sont rapportées dans les tables CRF de résultats pour assurer la cohérence de l'ensemble des surfaces rapportées. Utiliser directement les surfaces issues de TerUti avec les paramètres de calcul de l'IFN ajouterait de la confusion au niveau national, car les flux de carbone en forêt (croissance, mortalité, prélèvement) sont directement estimés par l'IFN sur la base de leurs propres estimations des surfaces forestières.

Néanmoins, les surfaces de forêt, telles qu'estimées dans TerUti et par l'IFN, ont été confrontées pour l'inventaire, l'IFN donne des surfaces forestières plus grandes que TerUti et avec une dynamique de croissance plus marquée sur les dernières décennies. Les surfaces de boisement issues de TerUti ont été ajustées de manière à être cohérentes avec les boisements de l'IFN. Les travaux se poursuivent pour mieux cerner les surfaces et dynamiques précises de la forêt métropolitaine française.

Ainsi, les flux de croissance, mortalité et prélèvements en forêts sont issus de l'IFN, qui estime ces flux sur la base de ces propres estimations de la superficie de forêt. Les surfaces de forêt de TerUti sont estimées avec une méthode différente mais nous les avons ajustées pour qu'elles soient cohérentes.

Suivi des surfaces de cultures en Outre-mer

En Outre-Mer, seules les 6 catégories d'usage du Giec sont appliquées et non les 16 sous-catégories utilisées en Métropole. Il n'est ainsi pas possible d'estimer les flux de biomasse liés aux cultures pérennes avec ces données. Des travaux complémentaires sont toujours en cours pour pouvoir distinguer les cultures annuelles et pérennes en Outre-mer.

Suivi des changements d'occupation des terres en Nouvelle-Calédonie

Pour la Nouvelle-Calédonie en particulier, des données d'occupation du sol spatialement explicites sont disponibles, pour les millésimes 2008 (Uniquement la partie Sud et les îles de la Loyauté) et 2014 (tout le territoire), produites par la Direction des Technologies et Services de l'Information. Ces cartes pourront être mobilisées, d'une part pour préciser les surfaces d'occupation du sol sans changement et d'autre part pour estimer des changements d'occupation du sol entre 2008 et 2014, et d'extrapoler les taux de changements annuels à une période plus large (1990-dernière année d'inventaire).

Clarification de l'estimation des sols organiques

L'identification des sols organiques et l'estimation des flux de carbone associés pourrait être améliorée. En identifiant de façon restreinte les sols organiques (périmètre plus petit que toutes les « zones humides » au sens du Giec et que les zones avec histosols), par exemple en se concentrant sur les tourbières, la distinction entre sols organiques et minéraux serait clarifiée.

Le suivi spatialement explicite de l'utilisation des terres pourrait permettre d'associer dans l'espace et le temps l'occupation du sol et les changements d'occupation du sol avec une cartographie des types de sols (minéral ou organique ; puis par type de sol minéral).

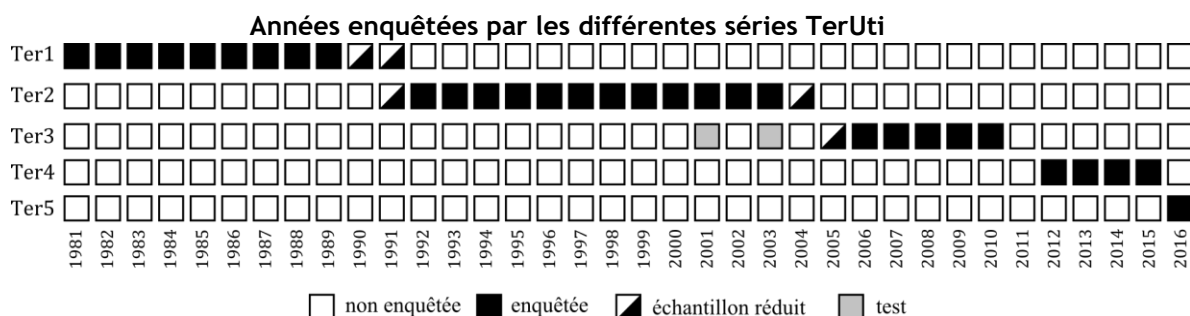
6.3.4 Incertitudes

Incertitudes des données sources - TerUti

L'enquête TerUti fournit des surfaces annuelles d'utilisation des terres à partir de points d'échantillonnage. L'intervalle de confiance associé à ces estimations est ainsi fonction des paramètres d'échantillonnage : nombre de points par territoire (taux de tirage) et par catégories. Les publications associées à l'enquête TerUti [1024, 1025, 1026] fournissent les informations sur le plan d'échantillonnage, les coefficients d'extrapolation, le calcul de la variance et de la précision.

Deux points importants sont à soulever :

- Les modalités d'échantillonnage de l'enquête TerUti ont évolué au cours du temps, ce qui rend difficile une analyse temporelle cohérente de l'incertitude associée.
- Les intervalles de confiance sont calculés pour des valeurs d'utilisation des terres annuelles, et non pour des valeurs de changements d'utilisation entre deux années.



Les différentes séries [1981 - 1989] (TerUti-1), [1992 - 2003] (TerUti-2), [2006-2010] (TerUti-3), [2012-2015] (TerUti-4) et [2016-] (TerUti-5) sont séparées par des ruptures méthodologiques affectant différemment la cohérence des résultats. On peut noter une permanence de la grille générale du plan de sondage entre 1991 et 2015. Robert, 2016.

Le principe d'une enquête par visite sur le terrain, tous les ans, de points d'échantillonnage, rassemblés en grappe et non répartis également sur le territoire, auxquels les enquêteurs doivent attribuer une occupation et une utilisation du sol, constitue l'ensemble de caractéristiques fixes de l'enquête de 1982 à aujourd'hui. La configuration des points en grappe est justifiée par une recherche d'optimisation coût-efficacité. Le détail du protocole (localisation du point, nombre de points enquêtés, utilisation de photos aériennes ou de GPS, définition des classes de la nomenclature, etc.) a quant à lui significativement évolué. Ces différentes évolutions méthodologiques compliquent fortement son utilisation pour de longues périodes de temps, par exemple de 1982 à aujourd'hui. Si l'on considère les enquêtes construites avec une méthode homogène, on distingue ainsi cinq séries statistiques, ayant une cohérence interne : la série TerUti (1), de 1982 à 1989, la série TerUti (2), de 1992 à 2003, la série TerUti (3) qui est produite depuis 2007 jusqu'à 2010, la série TerUti (4) de 2012 à 2015, et la série TerUti (5) depuis 2016.

Cette évolution méthodologique pose deux difficultés majeures :

- La sélection des points censés ne pas évoluer pourrait être pertinente si les données TerUti n'indiquaient pas, pour les années passées, des changements concernant ces catégories supposément stables. Le caractère stable des points non enquêtés relève plus de la supposition plausible que de la certitude. Selon le choix des catégories associées à cette stabilité supposée, l'enquête ajoute un biais en ne rendant possible la détection de changement que pour les catégories restantes.
- La récupération d'informations issues d'une donnée externe, le RPG, construite selon des protocoles extrêmement différents, présentant des biais déclaratifs (Faïq, et al. 2013), et avec une nomenclature différente (Fontes-Rousseau et Jean, 2015), entraîne une confusion quant à la qualité finale des données produites. Les valeurs de TerUti, notamment les changements d'occupation, sont en partie issues d'artefacts méthodologiques liés aux données du RPG, or ces données sont toujours présentées comme issues de l'enquête TerUti. Alors que c'est une enquête de contrôle des surfaces agricoles recensées qui a donné lieu à TerUti, il est intéressant de noter qu'aujourd'hui TerUti abandonne ce rôle de contrôle au profit des déclarations des exploitants demandeurs d'aides de la PAC.

L'analyse combinée de ces informations a conduit à l'estimation d'une incertitude de l'ordre de 5% sur les surfaces par type d'occupation et une incertitude comprise entre 5% et 80% pour les surfaces de changements (pourcentages différents selon le type de changement).

Analyse détaillée de l'évolution des paramètres d'échantillonnage de l'enquête TerUti

Nous présentons ici séparément les principes méthodologiques de ces séries.

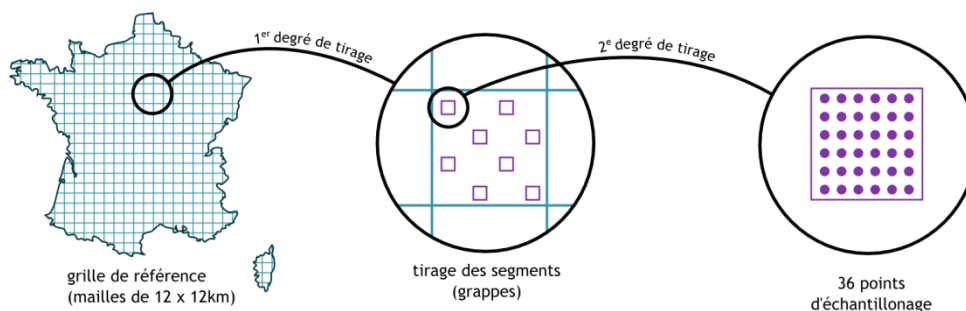
Série TerUti (1)

La sélection des points à enquêter se fait selon un échantillonnage non stratifié à deux degrés de tirage. Le premier degré de tirage consiste à quadriller le territoire en 4700 mailles carrées de 12 km de côté et de direction Nord-Sud et Est-Ouest dans lesquelles sont définis 4 positions de photographies aériennes, espacées de 6 km. Le second degré de tirage consiste à placer, au sein des 15 579 emplacements de photographies (ou segments), les points d'échantillonnage en grappe, en y dessinant une grille de 36 points, alignés de 6 en 6 et distants de 300 m. L'échantillon complet ainsi constitué compte 555 845 points, mais il est aussi possible de ne sélectionner, selon les départements ou les années, qu'une partie des 6 lignes par grappes. D'après ces différents paramètres du protocole, il est possible d'associer à chaque point une représentativité statistique afin d'extrapoler son information à une surface plus grande, de manière à obtenir une information statistiquement fiable sur l'ensemble du territoire. Les intérêts et les limites d'une telle approche ont été présentés dans le chapitre 3. Dans la série TerUti (1), la représentativité d'un point est en moyenne de 100,5 ha. D'après les premiers travaux menés depuis les années 1960 (Fournier, 1972), Amorich et al. (2012) ont formalisé les formules mathématiques appliquées pour calculer le coefficient d'extrapolation des points.

Principe du plan d'échantillonnage de l'enquête TerUti (1 et 2)

TerUti (1, 2)

échantillonnage
non stratifié
à deux degrés
de tirage



Les grappes principales sont espacées de 6 km, et les points de 300 m. D'après Agreste, 1993 (p.4).

Un point TerUti correspond sur le terrain à une placette carrée de 3 m x 3 m soit 9 m². Des enquêteurs - non professionnels - sont chargés de se rendre à l'emplacement de chaque point sélectionné pour y effectuer des relevés de terrain, principalement pour en renseigner l'occupation et l'usage du sol selon une nomenclature précise. Les profils des observateurs sont variés pour cette mission courte : étudiants, demandeurs d'emploi, retraités. Il n'est pas possible de disposer d'informations précises sur les enquêteurs TerUti auprès du Ministère de l'Agriculture. Les enquêteurs suivent un protocole précis pour visiter chaque point et sont formés pour interpréter au mieux les occupations et utilisations. Un enquêteur visite l'ensemble des points des segments qui lui sont attribués, aidé par des cartes et photographies aériennes, en remplissant un questionnaire-type.

Série TerUti (2)

La série TerUti (2) reprend la même approche méthodologique que la première série, avec deux modifications majeures. Tout d'abord, la nomenclature a été modifiée en 1991/1992 pour les postes de surfaces en herbe (notamment pour se rapprocher de l'enquête SAA) et boisées. Cela entraîne une première rupture méthodologique au sein des séries TerUti (voir p.242). Un deuxième changement intervenu est le renouvellement de l'échantillon¹⁸, afin de corriger un biais de représentativité de la série TerUti(1) où les surfaces agricoles étaient surreprésentées et les surfaces boisées sous-estimées (Agreste, 2007). Dans la série TerUti (2), la représentativité d'un point est en moyenne de 99,9 ha¹⁹. Ce changement crée une rupture avec la première série, un « décrochement » constaté par le SSP dans sa publication annuelle présentant les résultats de l'enquête (Agreste, 1993). Cet artéfact n'est pas résoluble, le SSP indique une méthode de « redressement » qui permet uniquement de recalculer les valeurs de 1991 par rapport à 1992. « Le décrochement est suffisamment important (quelles qu'en soient les raisons) pour inciter l'utilisateur des données TerUti à la prudence dans la comparaison de chiffres issus de l'ancienne série d'une part et de la nouvelle de l'autre. [...] Si l'évolution doit être mise en évidence sur moyenne ou longue période, une rétropolation doit être faite sur la série [TerUti (1)] pour passer sans rupture à la série [TerUti (2)]. » (Agreste, 1993, p.11). Dans cette publication, trois hypothèses d'explication du décrochement sont présentées : la différence de tirage de l'échantillon ; une

¹⁸ à l'exception de neuf départements qui ont conservé l'ancien échantillon (Agreste, 2007)

¹⁹ 50,9ha ou 50,2 ha pour Paris, sa couronne et Belfort)

différence dans l'observation ; une différence dans les nomenclatures (voir p.242). La série TerUti(2) s'arrête en 2004, année où le nombre de points a été réduit à 155 000 afin de constituer un demi-échantillon seulement, pour des raisons budgétaires.

Série TerUti (3)

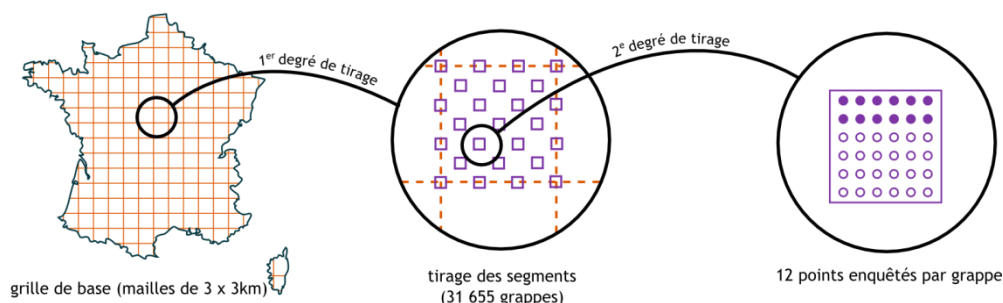
Depuis 2005, l'enquête TerUti a connu des évolutions majeures. Ces évolutions méthodologiques ont été mises en place pour être compatibles avec la version pilote de l'enquête européenne « LUCAS » en création à ce moment-là, afin qu'*in fine* TerUti soit la partie française de l'enquête LUCAS. TerUti a donc modifié complètement à la fois sa nomenclature et son plan d'échantillonnage pour correspondre aux spécifications de l'enquête pilote LUCAS, à tel point que la troisième série TerUti ainsi commencée a pour nom officiel « TerUti-LUCAS ». Cependant, l'enquête européenne LUCAS a évolué indépendamment et n'a pas conservé les mêmes spécifications que la version pilote... L'enquête TerUti n'a par contre pas évolué de nouveau et a conservé sa nouvelle version, ce qui explique qu'il existe aujourd'hui une série TerUti dite « TerUti-LUCAS » différente de la partie française de la série LUCAS. Pour éviter toute confusion, nous préférons donc bien séparer TerUti et LUCAS en appelant simplement la troisième série TerUti « TerUti (3) ».

Dans cette nouvelle série, le plan d'échantillonnage est complètement redéfini : la grille (définie par Eurostat), orientée N-S et E-W, est désormais composée de 64500 mailles de 3km de côté (contre 12 km). Chaque intersection détermine un segment. Parmi ces segments, on considère plusieurs groupes (permettant de sous-échantillonner) : le sous-échantillon effectivement sélectionné pour l'enquête représente la moitié des segments (soit 32 000, sauf en 2005 où un quart des segments seulement a été enquêté). Au sein d'un segment, 25 points sont grappés en ligne de 5 et espacés de 300m. Les deux premières lignes (10 points par grappe) sont enquêtées. Compte tenu des petits départements (où l'échantillon est densifié) et des segments incomplets à cheval sur une frontière, le nombre total de points enquêtés s'élève à 322 146 (171 620 en 2005), ce qui est plus faible que TerUti mais le nombre plus grand de segments permet une meilleure répartition spatiale et l'enquête conserve sa fiabilité (Jean et Morel, 2009). La fenêtre d'observation a aussi évolué, devenant un cercle de 3 mètres de diamètre pour une occupation homogène ou de 40 m pour une occupation hétérogène. Cette série TerUti (3) se termine en 2010. L'année 2011 n'a pas été enquêtée, le budget étant alors alloué à l'enquête RGA (Fontes-Rousseau et Jean, 2015).

Principes de l'enquête TerUti (3)

TerUti (3)

échantillonnage
non stratifié
à deux degrés
de tirage



Exemple de grappe TerUti (3)



Extrait d'un document fourni par le SSP à titre d'illustration des informations dont disposent les enquêteurs. Il s'agit ici de l'emplacement des points (par ailleurs géoréférencés) d'une grappe (Seg-Trace 80-168, Haute-Garonne), sur fond d'une ortho-photo IGN.

Série TerUti (4)

L'enquête TerUti dite « TerUti-LUCAS » se poursuit de 2005 à 2015. Néanmoins, l'enquête a de nouveau connu une évolution majeure en 2012, dont l'impact sur les résultats est trop important pour que l'on puisse réellement considérer la série sans rupture. Nous considérons donc ici le début, en 2012, d'une série TerUti (4). L'évolution majeure de l'enquête consiste à réduire son coût jugé trop élevé (plus d'un million d'euros, CNIS, 2016), en réduisant le nombre de points enquêtés. La méthode classique consiste à réduire l'échantillonnage spatial (par exemple de moitié comme en 2004, ce qui réduit la représentativité statistique des points) ou temporel (ne pas enquêter une année comme en 2011). Un autre choix a été fait pour conserver le nombre de points tout en ne les enquêtant pas tous : le recours à une stratégie de stratification et de classement par défaut ou via une autre source de données. Il s'agit de considérer les points en deux groupes : les points à enquêter et les points classifiables sans visite de terrain. Ces derniers sont de deux types : d'une part des points classifiables par défaut dans leur catégorie précédente, car sans raison d'évoluer (zones urbaines, surfaces en eau, rochers...) ; et d'autre part des points situés dans des parcelles renseignées dans le Registre Parcellaire Graphique des déclarations PAC (voir 4.2). Dans ce cas, l'information déjà renseignée dans le RPG est indiquée dans TerUti. Pour cela, la nomenclature a dû de nouveau être modifiée afin de correspondre aux classes indiquées dans le RPG. En 2014, le recours aux données du RPG concerne 33% des points (Fontes-Rousseau et Jean, 2015).

Série TerUti (5)

Cette nouvelle série n'est pas intégrée à l'inventaire, elle repose sur un système de collecte encore différent.

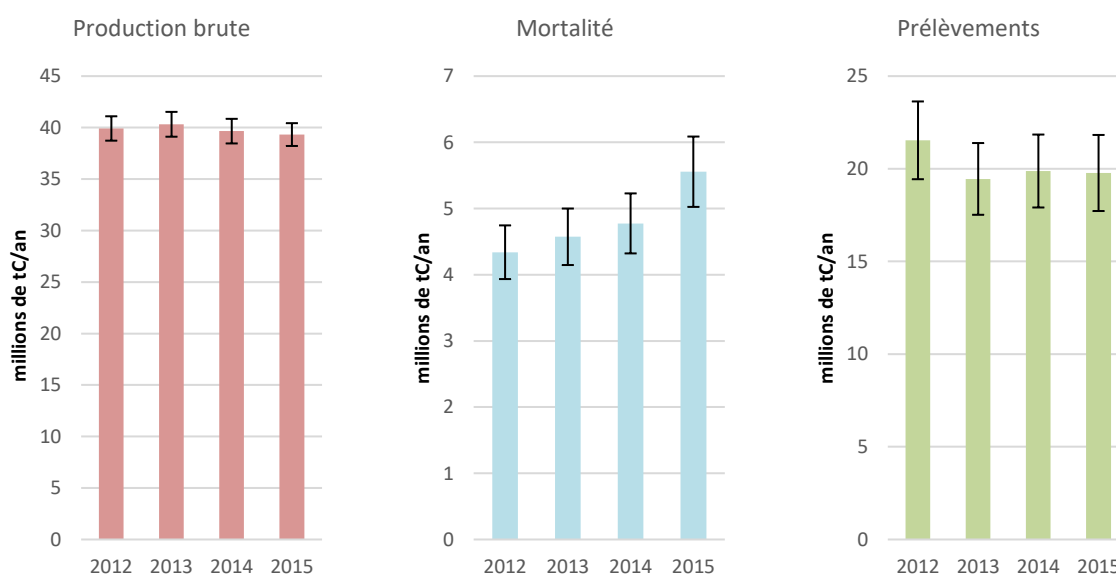
Incertitudes des données sources issues de l'inventaire forestier

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 définissons 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 162 : 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 2 de l'incertitude UTCATF est présentée ci-dessous.

Tableau 170 : 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%

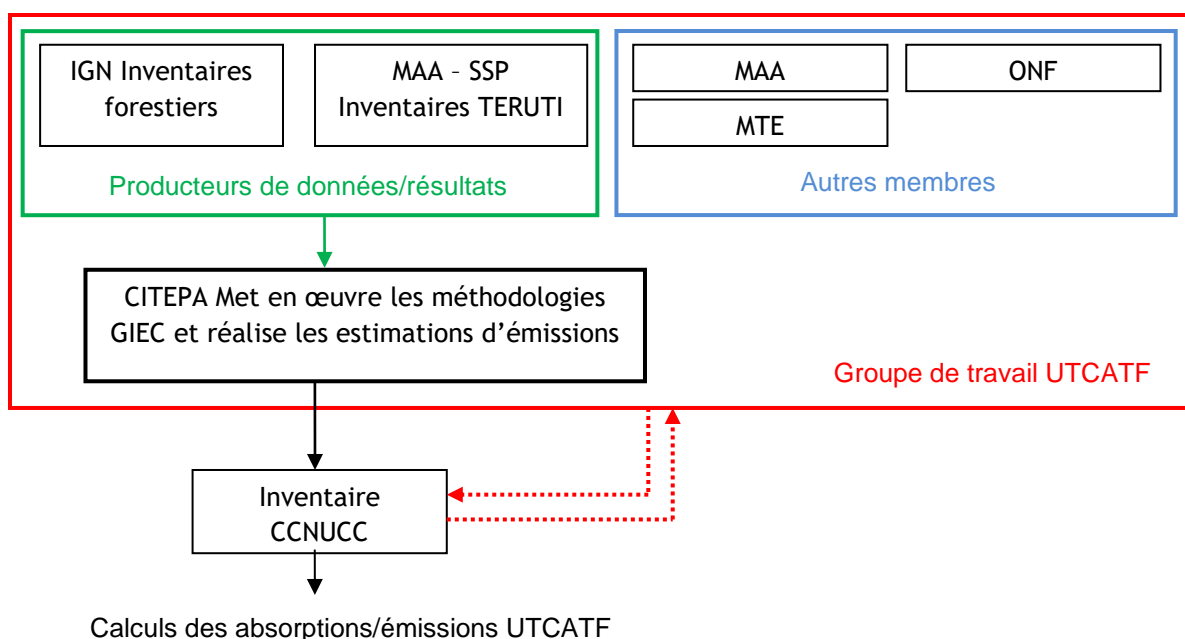
	Incertitude de l'activité	Incertitude des facteurs d'émission
Forêt	5%	23%
Prairie	10%	50%
Culture	10%	40%
Artificiel	10%	30%
Zones humides	40%	60%
Autres terres	20%	80%

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).



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]).

6.4 Forêts (CRF 4A)

6.4.1 Caractéristiques de la catégorie

Généralités

La forêt constitue la plus grande partie du bilan de l'UTCATF. La superficie forestière est estimée à près de 24 millions d'hectares en France dont plus de 8 millions en Guyane française. L'ensemble de cette forêt est désormais considéré géré mais seule la partie métropolitaine bénéficie d'un suivi forestier permettant une estimation précise, la 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 et 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 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 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 163 : Surfaces et Emissions / Absorptions en forêt

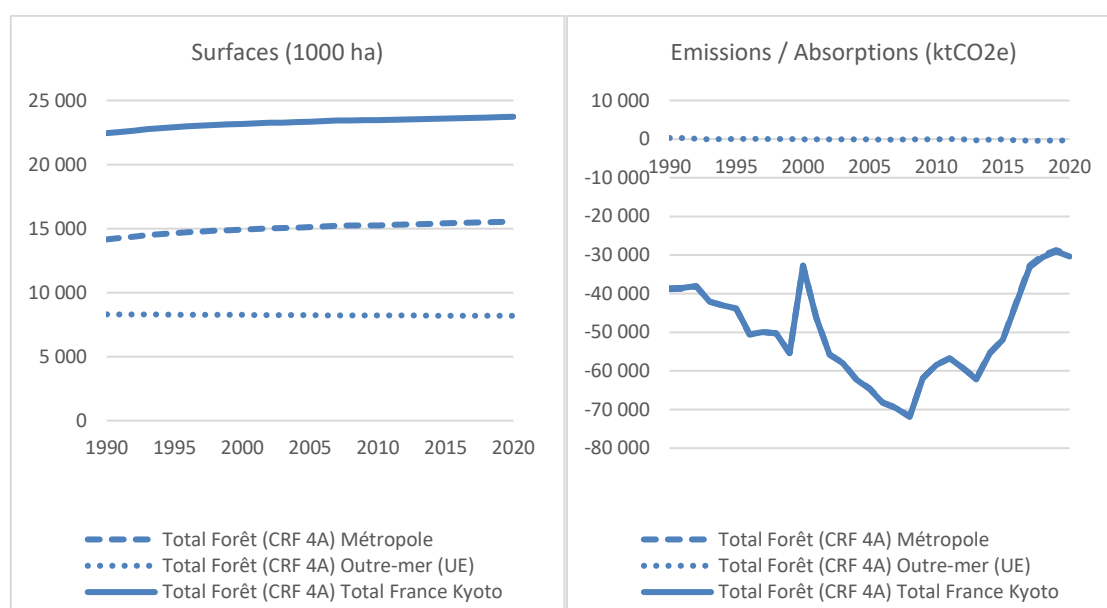


Tableau 171 : Surfaces en forêt (en milliers d'ha)

	Surfaces (ha)								
	Total Forêt (CRF 4A)			Forêt restant Forêt (CRF 4A1)			Terres devenant Forêt (CRF 4A2)		
	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto
1990	14 153	8 297	22 450	12 705	8 290	20 995	1 448	7	1 455
1991	14 251	8 292	22 544	12 742	8 285	21 027	1 509	8	1 517
1992	14 363	8 288	22 651	12 781	8 279	21 060	1 581	9	1 590
1993	14 485	8 283	22 769	12 822	8 274	21 096	1 663	10	1 672
1994	14 569	8 279	22 848	12 859	8 268	21 127	1 711	11	1 721
1995	14 648	8 274	22 922	12 900	8 263	21 163	1 748	12	1 759
1996	14 717	8 270	22 987	12 939	8 257	21 197	1 778	13	1 791
1997	14 774	8 265	23 040	12 979	8 252	21 231	1 795	13	1 808
1998	14 827	8 261	23 088	13 021	8 246	21 268	1 806	14	1 820
1999	14 871	8 256	23 128	13 053	8 241	21 294	1 818	15	1 834
2000	14 912	8 252	23 164	13 102	8 236	21 337	1 811	16	1 827
2001	14 966	8 247	23 213	13 143	8 230	21 373	1 823	17	1 840
2002	15 011	8 243	23 253	13 185	8 225	21 410	1 825	18	1 844
2003	15 038	8 238	23 276	13 230	8 219	21 450	1 807	19	1 827
2004	15 073	8 234	23 307	13 306	8 214	21 520	1 767	20	1 787
2005	15 116	8 229	23 345	13 351	8 208	21 559	1 765	21	1 786
2006	15 166	8 225	23 391	13 375	8 203	21 578	1 791	22	1 813
2007	15 226	8 220	23 446	13 376	8 198	21 573	1 850	23	1 873
2008	15 234	8 216	23 450	13 393	8 192	21 585	1 841	24	1 865
2009	15 242	8 213	23 455	13 437	8 188	21 624	1 806	25	1 831
2010	15 250	8 210	23 460	13 511	8 183	21 695	1 739	27	1 765
2011	15 282	8 207	23 488	13 605	8 179	21 784	1 676	28	1 704
2012	15 313	8 204	23 517	13 710	8 174	21 885	1 602	29	1 632
2013	15 344	8 201	23 544	13 825	8 170	21 995	1 519	31	1 550
2014	15 374	8 198	23 572	13 906	8 166	22 071	1 468	32	1 500
2015	15 404	8 195	23 598	13 976	8 161	22 137	1 428	34	1 461
2016	15 433	8 192	23 625	14 039	8 157	22 196	1 394	35	1 429
2017	15 462	8 189	23 651	14 089	8 153	22 242	1 373	36	1 409
2018	15 490	8 187	23 677	14 133	8 149	22 282	1 357	38	1 395
2019	15 519	8 184	23 703	14 179	8 145	22 323	1 340	39	1 379
2020	15 546	8 181	23 728	14 204	8 141	22 345	1 342	41	1 383

Tableau 172 : Emissions / Absorptions en forêt (en ktCO₂e)

	Emissions / Absorptions (ktCO ₂ e)								
	Total Forêt (CRF 4A)			Forêt restant Forêt (CRF 4A1)			Terres devenant Forêt (CRF 4A2)		
	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto
1990	-38 853	297	-38 556	-31 689	326	-31 362	-7 164	-29	-7 194
1991	-38 753	273	-38 480	-31 089	315	-30 774	-7 664	-42	-7 706
1992	-38 122	99	-38 023	-29 904	148	-29 755	-8 219	-49	-8 268
1993	-42 046	-25	-42 071	-33 222	32	-33 190	-8 824	-57	-8 881
1994	-43 094	-5	-43 099	-33 792	59	-33 733	-9 302	-64	-9 366
1995	-43 887	61	-43 826	-34 129	132	-33 997	-9 758	-72	-9 829
1996	-50 607	69	-50 538	-40 404	148	-40 256	-10 203	-79	-10 282
1997	-49 945	14	-49 931	-39 389	100	-39 289	-10 556	-86	-10 642
1998	-50 305	41	-50 264	-39 448	134	-39 314	-10 857	-94	-10 951
1999	-55 440	24	-55 416	-44 262	125	-44 137	-11 178	-101	-11 279
2000	-32 725	-77	-32 802	-21 356	31	-21 325	-11 369	-108	-11 478
2001	-46 102	-79	-46 181	-34 460	36	-34 423	-11 642	-116	-11 758
2002	-55 741	-90	-55 831	-43 887	33	-43 854	-11 854	-123	-11 977
2003	-57 893	-67	-57 960	-45 957	63	-45 894	-11 936	-130	-12 066
2004	-62 154	-65	-62 219	-50 312	73	-50 240	-11 842	-138	-11 980
2005	-64 568	-101	-64 669	-52 636	44	-52 592	-11 932	-145	-12 077
2006	-68 153	-140	-68 293	-55 967	12	-55 954	-12 186	-152	-12 339
2007	-69 521	-160	-69 681	-56 836	0	-56 836	-12 685	-160	-12 844
2008	-71 819	-95	-71 914	-59 531	72	-59 459	-12 288	-167	-12 455
2009	-61 847	-64	-61 911	-50 031	121	-49 910	-11 816	-184	-12 001
2010	-58 371	-93	-58 463	-46 998	109	-46 889	-11 373	-202	-11 574
2011	-56 759	-13	-56 772	-46 129	206	-45 923	-10 630	-219	-10 848
2012	-59 221	-46	-59 267	-48 814	190	-48 624	-10 406	-236	-10 642
2013	-61 941	-304	-62 245	-52 117	-51	-52 167	-9 825	-253	-10 078
2014	-55 344	-153	-55 497	-46 284	117	-46 167	-9 059	-270	-9 330
2015	-51 878	-90	-51 968	-43 740	198	-43 542	-8 138	-288	-8 426
2016	-42 251	-326	-42 578	-34 364	-22	-34 386	-7 887	-305	-8 192
2017	-32 678	-433	-33 111	-25 344	-111	-25 455	-7 334	-322	-7 656
2018	-30 079	-442	-30 521	-22 943	-103	-23 046	-7 136	-339	-7 475
2019	-28 724	-349	-29 073	-21 867	7	-21 860	-6 857	-356	-7 213
2020	-30 050	-377	-30 427	-23 240	-4	-23 243	-6 810	-374	-7 184

6.4.2 Méthode d'estimation des émissions

Emissions de CO₂

Emissions de CO₂ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les flux de CO₂ sont directement estimés à partir des flux de carbone observés entre les différents réservoirs de carbone des terres définis par le GIEC.

Emissions de CO₂ liées au brûlage

Les émissions de CO₂ provenant des feux de forêts sont estimées directement à partir de la biomasse brûlée. La conversion en CO₂ de la biomasse brûlée est estimée grâce à une teneur moyenne de 0.5 tC/t m.s.

Emissions de CH₄

Emissions de CH₄ 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 CH₄ liées au brûlage

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 ou d'un défrichement est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond au solde une fois pris en compte la récolte et la

part laissée en décomposition. Elle est en moyenne de 13%. 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 4,7 kg/t m.s (métropole) et de 6,8 kg/t m.s (Outre-mer) tirés des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Emissions de N₂O

Emissions de N₂O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Les émissions de N₂O liées à la fertilisation des terres forestières sont actuellement négligées dans l'inventaire français.

Emissions de N₂O 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 N₂O liées à la minéralisation des sols

Les émissions de N₂O liées à la minéralisation des sols sont estimées dans l'inventaire français pour les terres forestières dans tous les cas où la conversion vers une terre forestière entraîne une perte de carbone des sols ce qui ne se rencontre que dans quelques régions dans l'inventaire actuel et uniquement sur des terres de prairies converties en forêt.

Emissions de N₂O liées au brûlage

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 ou d'un défrichement est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond au solde une fois pris en compte la récolte et la part laissée en décomposition. Elle est en moyenne de 13%. 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/t m.s (métropole) et de 0,2 kg/t m.s (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>

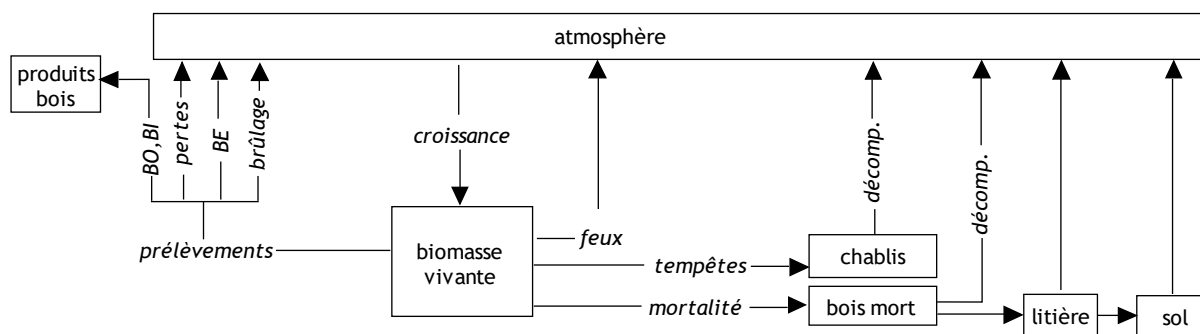
De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Approche et données

Approche générale

En forêt, les estimations se font en partie avec une approche gains-pertes et en partie avec une approche par variation de stock.

Figure 164 : 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.

Approche en métropole

Méthodologie de l'inventaire forestier

Les flux de carbone estimés pour la forêt sont en grande partie dérivés des travaux de l'IGN qui produit l'inventaire forestier de la France. Le protocole pour la production des résultats d'inventaire forestier de l'IGN est décrit en détail sur le site internet de l'IGN [594]. L'inventaire forestier repose sur un système d'échantillonnage systématique comportant annuellement environ 80 000 points d'inventaire.

Deux grandes étapes peuvent être distinguées : la photo-interprétation de tous ces points d'inventaire (classification par couverture et usage et estimation des surfaces) ; la visite de terrain sur une partie des points d'inventaire classés en forêt ou landes (estimation de plusieurs dizaines de caractéristiques qualitatives et quantitatives) (voir encadré ci-dessous).

Méthodologie de l'IFN

« Depuis 2005, une méthode statistique par sondage systématique est appliquée annuellement sur l'ensemble du territoire métropolitain. L'avantage de cette méthode est d'être souple et de s'adapter facilement à de multiples découpages spatiaux et à de nombreuses thématiques. Elle permet de produire annuellement des résultats nationaux et régionaux précis par agrégation de données issues de cinq campagnes annuelles.

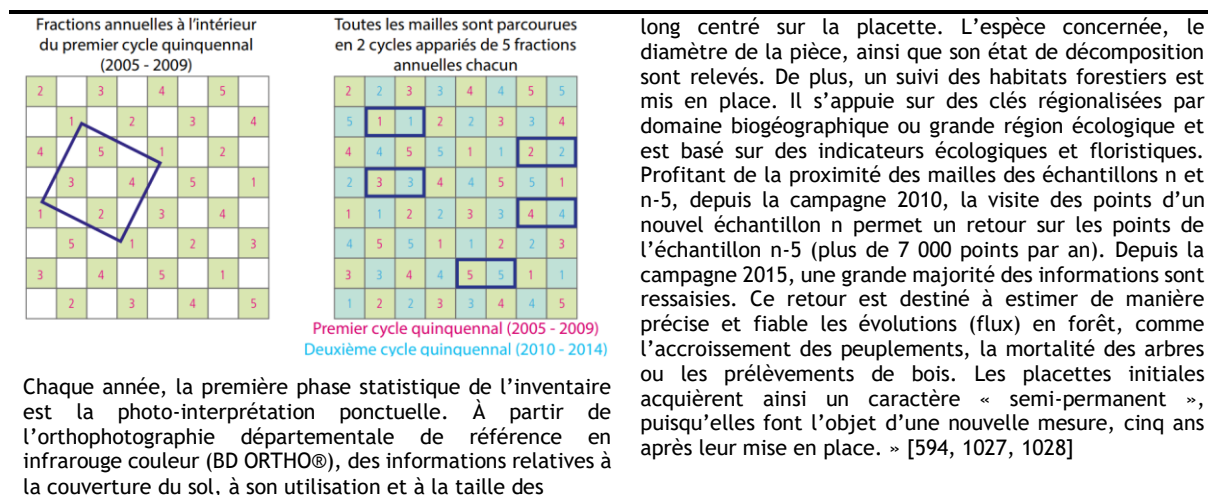
Chaque année, un échantillon représentatif de l'ensemble du territoire est visité. Il est cumulable avec les échantillons des années adjacentes pour produire des résultats plus précis fondés sur plusieurs échantillons annuels, selon le principe de la fenêtre glissante. Les résultats standards portent ainsi sur cinq années successives et fournissent des estimations pour l'année médiane de la fenêtre. L'inventaire forestier repose sur une grille à maille carrée de 1 km de côté, mise en place pour construire dix échantillons annuels différents. Cette grille décennale est séparée en deux sous-ensembles quinquennaux, dont les fractions annuelles sont juxtaposées : la fraction 1 du premier cycle quinquennal est juxtaposée à la fraction 1 du second cycle, etc.

Ainsi, une grille formée de cinq ensembles de mailles rectangulaires de 2 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.

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 photointerprétation à réaliser de manière homogène :

un premier échantillon de points nouveaux, constitués de points photointerprétés pour la première fois, et un deuxième échantillon de points re-photo-interprétés, constitué de points déjà photo-interprétés cinq ans auparavant. Ce sont désormais environ 100 000 points qui sont photo- interprétés chaque année. Les résultats de ce travail initial contribuent à une première estimation de la surface du territoire selon la couverture et l'utilisation du sol.

La seconde phase consiste à tirer un sous-échantillon parmi les points de la première phase : les couvertures boisées et les landes font l'objet d'un inventaire sur le terrain (soit environ 7 000 points visités chaque année), les couvertures agricoles et en improductif n'en font pas l'objet. Au cours des travaux de terrain, des observations et mesures portant sur le milieu et la végétation (arborée ou non) sont effectuées sur les placettes concentriques entourant le point. Cela permet de qualifier plusieurs dizaines de caractéristiques qualitatives et quantitatives, concernant le peuplement forestier, la végétation, les conditions stationnelles et les arbres (hauteur, diamètre, accroissement, âge, etc.). Des données sur le bois mort au sol sont également collectées, par inventaire des pièces de bois mort au sol qui intersectent le transect de 12 m de

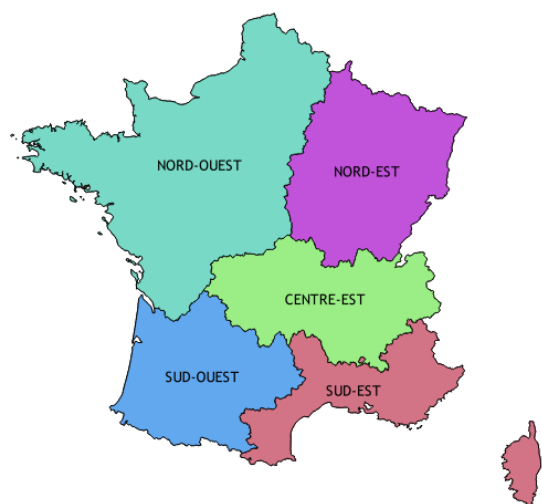


Intégration des campagnes de l'IFN dans l'inventaire

Pour la France métropolitaine, les données sur l'accroissement (croissance brute), la mortalité et les prélèvements issues des campagnes IFN sont fournies, en tonnes de carbone, avec le degré de détail suivant :

- pour la biomasse aérienne et racinaire;
- par type de peuplement (purement feuillu, purement conifère, mixte, peupleraie) ;
- par interrégion (regroupement des 22 anciennes régions en 5 interrégions : Nord-Est, Centre-Est, Sud-Est, Sud-Ouest, Nord-Ouest), voir carte ci-dessous ;

Figure 165 : 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)

Campagnes de l'inventaire forestier national fournies par l'IGN utilisées dans l'inventaire UTCATF

			interpolation 1990-2007														années renseignées par les campagnes IFN											extrapolation					
résultats fournis en...	campagne IFN	année médiane	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	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																															

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 2015-2019.

Accroissement (ou production brute)

En France métropolitaine, l'IGN fournit des estimations de la production brute au sein des forêts de production par type de peuplement et par interrégion.

La production brute annuelle totale de la forêt est estimée en sommant la production des arbres recensables depuis 5 ans (accroissement en volume des 5 dernières années), le recrutement (volume des arbres recensables depuis moins de 5 ans) et la production sur la période précédant leur mort des arbres coupés ou morts durant les 5 dernières années. La production annuelle brute est donc basée sur une estimation de la production sur une période de 5 ans en raison du protocole de collecte des données de terrain. Cette approche se justifie également par la forte variabilité interannuelle de l'accroissement des arbres qui peut ainsi être lissée dans les inventaires d'émission.

La production brute des arbres est estimée à partir des mesures de terrain notamment la circonférence, la hauteur, et l'accroissement radial des arbres présents. L'échantillonnage étant systématique et non biaisé, ces mesures peuvent être extrapolées à l'ensemble de la forêt métropolitaine. Pour les arbres recensables depuis 5 ans la production en volume (en m3 de bois fort tige IGN) est estimée par arbre grâce à l'équation suivante :

Équation 6 (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 V_{t-5}/V_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 les résultats de production en biomasse totale, l'équation UTCATF 6 est également utilisée en revanche le paramètre V''_t est exprimé en biomasse totale et est estimé grâce à des tarifs de cubage différents [595] de ceux utilisés pour estimer les volumes en bois fort tige (IGN, 2010). Les données de production sont fournies par l'IGN sur des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-2011, etc.). Ces données sont traitées par l'IGN pour correspondre aux années médianes 2007, 2008, 2009, etc. dans l'inventaire de GES. Certaines années médianes correspondent donc à des périodes incluant ou non les impacts de la tempête Klaus qui a eu lieu en 2009.

Tableau 173 : Production brute annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN (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 2017 (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. Les années 2018 à 2020 sont estimées par extrapolation (voir plus bas).

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 fait l'objet d'un traitement particulier (voir plus bas). Ce flux est directement comptabilisé comme une émission vers l'atmosphère. En pratique l'IGN estime ce paramètre en mesurant les volumes des arbres morts depuis moins de cinq ans précédant la visite sur le terrain. La mortalité annuelle est estimée à partir des mesures de terrain notamment la circonférence et la hauteur des arbres morts présents. L'échantillonnage étant systématique et non biaisé, ces mesures peuvent être extrapolées à l'ensemble de la forêt métropolitaine.

Dans le GIEC 2006, cette grandeur n'est pas clairement présentée elle est incluse dans le paramètre $L_{\text{disturbances}}$ 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 totale 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 1990-2007 sur la base de la tendance estimée pour la production.

Les données utilisées étant des moyennes quinquennales assimilées à l'année médiane, il y a toujours un décalage entre la dernière année médiane consolidée disponible et la dernière année à estimer pour l'inventaire de GES. Pour l'inventaire édition 2022 par exemple, la dernière campagne utilisable concerne les années 2015-2019 et est assimilée à l'année 2017. Pour estimer les années 2018, 2019 et 2020, une extrapolation temporaire est effectuée pour pallier ce décalage. Pour les données de production brute et de mortalité les valeurs utilisées pour les trois dernières années sont donc temporaires. L'extrapolation est réalisée en faisant la moyenne des 5 dernières campagnes (production brute) ou des 5 dernières valeurs annualisées (mortalité), afin de ne pas faire d'hypothèse forte sur les tendances. Pour les prélèvements, des données plus récentes sont en revanche disponibles (voir section suivante).

Tableau 174 : Mortalité annuelle de biomasse totale aérienne et racinaire (ktC/an) détaillée par interrégion telle qu'elle est fournie par l'IGN (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 L_{fellings} et L_{fuelwood} de l'équation 2.11 traitant des pertes de carbone des terres forestières.

Équation 7 (Forêts) (basée sur l'équation 2.11 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta\text{CFF}_L = L_{\text{wood-removals}} + L_{\text{fuelwood}} + L_{\text{disturbances}}$$

Avec :

ΔCFF_L	=	Perte annuelle de carbone due à la perte de biomasse dans les forêts restant forêts, t C/an
$L_{\text{wood-removals}}$	=	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
$L_{\text{disturbances}}$	=	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 175 : Paramètres et bilan pour la biomasse forestière totale en métropole (ktC/an)

	Accroissement	Mortalité*	Prélèvements	Bilan
1990	35 370	-3 482	-21 589	10 299
1991	35 728	-3 119	-22 356	10 252
1992	36 108	-3 224	-22 805	10 078
1993	36 510	-3 285	-22 123	11 102
1994	36 864	-3 372	-22 130	11 362
1995	37 219	-3 372	-22 301	11 546
1996	37 579	-3 362	-20 890	13 327
1997	37 925	-3 481	-21 295	13 149
1998	38 258	-3 520	-21 498	13 240
1999	38 562	-21 567	-20 423	-3 428
2000	38 882	-3 735	-24 918	10 229
2001	39 201	-3 650	-21 929	13 622
2002	39 492	-3 718	-19 716	16 058
2003	39 783	-4 156	-19 074	16 553
2004	40 130	-3 740	-18 833	17 557
2005	40 824	-3 692	-18 696	18 436
2006	41 160	-3 722	-18 172	19 266
2007	41 054	-3 768	-18 171	19 115
2008	40 966	-3 965	-17 332	19 669
2009	40 677	-4 125	-19 055	17 497
2010	40 867	-4 042	-20 363	16 462
2011	40 156	-4 103	-20 095	15 958
2012	39 917	-4 340	-18 987	16 590
2013	40 324	-4 573	-18 496	17 255
2014	39 657	-4 775	-19 440	15 443
2015	39 325	-5 556	-19 274	14 495
2016	38 375	-6 454	-20 039	11 882
2017	37 523	-7 545	-20 673	9 306
2018	37 523	-7 876	-21 192	8 455
2019	37 523	-8 398	-20 935	8 190
2020	37 523	-8 341	-20 689	8 493

*Ce tableau inclut les pertes de carbone liées aux feux de forêt et aux tempêtes dans la mortalité

L'intégralité des valeurs du bilan est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx (valeurs converties en CO₂e).

Discussion

Une approche par variation de stock est envisageable, en complément de l'approche des flux actuellement appliquée. Une première comparaison de cette variation de stock comparée avec le bilan des flux estimés est déjà appliquée à l'échelle de la France métropolitaine entière.

Approche en Outre-Mer

En Outre-mer (zone Kyoto), 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 est appliquée.

Données

Pour la zone exploitée, les données de l'ONF (surface exploitée, taux de récolte) sont mobilisées, ainsi qu'un facteur d'accroissement fixé à 1,75tC/ha/an pour les terres ayant subi une exploitation sur la base de Guitet et al. (2006) [328] (valeur d'accroissement après récolte entre 1.5tC/ha/an et 2tC/ha/an).

Pour le reste de la Guyane, l'hypothèse de neutralité s'appuie aussi sur l'expertise de Guitet et al. (2006) [328]. Pour les terres ayant été boisées depuis moins de 20 ans, la valeur de 1tC/ha comme en métropole est utilisée, cette valeur apparaît en cohérence avec Guitet et al. 2006 (valeur d'accroissement après récolte entre 1.5tC et 2tC/ha pour les terres ayant subi une exploitation).

Incertitudes le rôle de puits de la forêt guyanaise

Le bilan carbone de l'écosystème forestier en Amazonie est incertain. Certaines études tendent à montrer que la forêt amazonienne en général aurait un rôle de puits, d'autres montrent qu'il s'agirait plutôt d'une source. Ces résultats dépendent de multiples paramètres (périmètre, mesure ou estimation, région, échantillonnage, période...).

La prise en compte des phénomènes de surmortalité liée à la variabilité pluvio-climatique ainsi qu'à la dégradation forestière (au-delà de la déforestation) induit des estimations qui remettent parfois en question le rôle de puits de carbone de la forêt amazonienne. Au niveau mondial, à partir de mesures satellitaires couplées aux données de terrain, Baccini et al. (2017) concluent que les espaces forestiers tropicaux seraient une légère source, et non un puits. La croissance ne compenserait pas la déforestation ni la dégradation et perturbation (69% des pertes).

L'analyse des données forestières historiques montre que si l'Amazonie joue un rôle de puits de carbone, une tendance au déclin de cette accumulation est observée à long terme (Brienen et al., 2015). Le taux d'accroissement dans la biomasse aérienne a diminué de 2/3 entre les années 1990 et les années 2010. On observe 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 8 (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 9 (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

6.4.2.1 Forêts restant forêts (4A1)

Biomasse vivante (Forêts restant forêts)

Calcul de la variation de stock (ΔCFF_{LB})

Le stock de carbone de ce réservoir évolue au cours du temps, dans l'inventaire français ses variations sont estimées à partir des accroissements, de la mortalité, des prélèvements forestiers et prennent en compte certains événements exceptionnels comme les tempêtes ou les feux de forêts (cf. la partie qui précède *Caractéristiques de la catégorie*). Les variations de stocks de carbone de la biomasse vivante des forêts restant forêts sont estimées par la méthode des flux.

Équation 10 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.4 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CFF_{LB} = (\Delta CFF_G - \Delta CFF_L)$$

Avec :

ΔCFF_{LB}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an
ΔCFF_G	=	Gain annuel en carbone de la biomasse vivante, t C/an
ΔCFF_L	=	Perte annuelle en carbone de la biomasse vivante, t C/an

Calcul des gains (ΔCFF_G)

Pour estimer l'accroissement des arbres ; en forêts restant forêts, le GIEC propose la méthode suivante.

Équation 11 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.9 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CFF_G = \sum_{ij} (A_{FF_{ij}} \bullet GTOTAL_{FF_{ij}}) \bullet CF$$

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 peuplements (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 de façon distincte. Seul l'accroissement total de la forêt est disponible. 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 12 (Forêts)

$$GTOTAL_{FF_{ij}} = GTOTAL_{ij} \bullet A_{FF_{ij}} \bullet Acc_{FF_{ij}} / (A_{FF_{ij}} \bullet Acc_{FF_{ij}} + A_{LF_{ij}} \bullet Acc_{LF_{ij}})$$

Avec :

$GTOTAL_{FF_{ij}}$	=	Accroissement normalisé 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
$GTOTAL_{ij}$	=	Accroissement moyen annuel en MS sur les forêts, tMS/an
$A_{FF_{ij}}$	=	Surfaces des forêts restant forêts, ha
$A_{LF_{ij}}$	=	Surfaces des terres devenant forêts, ha
$Acc_{FF_{ij}}$	=	Accroissement moyen annuel en MS sur les forêts restant forêt, t MS/ha/an
$Acc_{LF_{ij}}$	=	Accroissement moyen annuel en MS sur les terres devenant forêt, t MS/ha/an

Calcul des pertes (ΔCFF_L)

Pour les pertes de carbone de biomasse vivante en forêt restant forêt l'équation suivante est utilisée.

$$\Delta CFF_L = \sum_{ij} (P_FF_{ij} + Mortalité_FF_{ij}) \bullet CF$$

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

Calcul des prélèvements de bois des forêts restant forêts (P_FF_{ij}) - Métropole

Dans l'inventaire français, il est considéré que tous les prélèvements ont lieu sur les forêts restant forêts, les prélèvements de bois ne sont donc pas répartis entre forêts restant forêts et terres devenant forêts.

Méthode « directe » de mesure des prélèvements par l'IGN

Les prélèvements sont estimés dans un premier temps avec une donnée issue de l'IGN : l'estimation des « prélèvements directs » en forêt [202], disponibles en volume (bois fort tige IGN), en biomasse totale et en carbone total (grâce à l'utilisation de tarifs de cubage (Vallet, 2006) et de facteurs de conversion spécifiques), et sur des périodes de 5 ans.

Méthodologie de l'IFN : mesure des prélèvements

« Pour estimer les prélèvements, l'IGN revient sur toutes les placettes « forêt » et « peupleraie » inventoriées cinq ans auparavant et sur lesquelles des arbres vivants avaient été observés. Le choix du pas de temps de cinq ans correspond à la période d'évaluation des autres flux (croissance des arbres et mortalité). [...] Sur les points où au moins un prélèvement de moins de 5 ans est signalé, chaque arbre qui était vivant et inventorié au passage précédent est noté comme coupé ou non. Un arbre est noté « coupé », que la grume soit vidangée ou non et que la souche soit déracinée ou non. » [594]

Cette donnée n'est disponible que depuis la mise à jour méthodologique de l'IFN de 2005, et donc est disponible pour des périodes de 5 ans (2005-2009, 2006-2010, 2007-2011, etc.). Elle comptabilise les arbres prélevés en forêt entre deux campagnes d'inventaire forestiers et permet d'évaluer, avec une incertitude faible, les volumes de bois récoltés en forêt. Il faut souligner que les arbres prélevés peuvent être des arbres morts (produits accidentels), qui ne seront alors pas décomptés dans les volumes de mesure de la mortalité.

Ces données de prélèvement concernent à la fois les forêts restant forêts que les forêts qui seront finalement défrichées. La part des prélèvements issue de défrichements ($P_Défrichement_IGN$), d'environ 1,5 Mm3 de bois fort tige sur les années couvertes est ainsi retranchée de ce niveau de prélèvement général en forêt. Ainsi, la perte de biomasse n'est pas double-comptée avec celle des défrichements.

Équation 14 (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 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 15 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.12 du GIEC 2006 [672])

$$L_{\text{wood-removals}} = H \bullet D \bullet BEF_R \bullet (1+R) \bullet CF$$

Avec :

$L_{\text{wood-removals}}$	=	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 racine/aerien, sans unité
f_{BL}	=	fraction laissée en décomposition
CF	=	Fraction en carbone de la matière sèche, t C/t MS

Équation 16 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.13 du GIEC 2006 [672])

$$L_{\text{fuelwood}} = FG \bullet D \bullet BEF_R \bullet (1+R) \bullet CF$$

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/aerien, sans unité
CF	=	Fraction en carbone de la matière sèche, t C/t MS

La méthode « modèle » est basée sur l'estimation de deux valeurs : les récoltes commerciales (bois d'œuvre et d'industrie principalement) et les récoltes non commerciales (bois de feu principalement).

Méthode « modèle » - Récoltes commerciales - Bois d'œuvre et d'industrie

Les récoltes commerciales sont issues des statistiques de ventes de bois d'œuvre et d'industrie. En métropole, l'enquête annuelle de branche sur « exploitation forestière et scierie » du SSP (EAB) fournit les volumes de récoltes commerciales de bois à l'échelle régionale [200].

Méthode « modèle » - Récoltes non commerciales - Bois énergie

Il s'agit essentiellement de prélèvement pour le **bois de feu**, (soit une partie du prélèvement de bois énergie), qui doit spécifiquement être estimée, bien que l'évaluation des volumes transitant par cette filière soit difficile de par 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 suivantes, selon l'équation ci-après :

Équation 17 (Forêts)

$$\text{Récolte_BE}_{(i)} = (\text{Frac}_1 \bullet \text{Conso_BE}_{(i+2)} + \text{Frac}_2 \bullet \text{Conso_BE}_{(i+3)}) \bullet \text{FCV}$$

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, m³/tep

Malheureusement, il n'est pas possible pour les 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 18 (Forêts)

$$\text{Récolte_BE}_{(i)} = (\text{Conso_BE}_{(i)} + \text{Conso_BE}_{(i-1)} + \text{Conso_BE}_{(i-2)}) / 3 \bullet \text{FCV}$$

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, m³/tep

Dans l'inventaire actuel, le facteur de conversion en volume (FCV) est estimé à 4,5 m³/tep sur la base des estimations suivantes pour le bois énergie : 18GJ/t 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 176 : Récoltes de bois matériau et de bois énergie en Métropole depuis 1990.

rapportageUTCATF.xls /OMINEA

ANNEE	BOIS D'OEUVRE (feuillus) (1000 m ³)	BOIS D'OEUVRE (résineux) (1000 m ³)	BOIS D'INDUSTRIE (feuillus) (1000 m ³)	BOIS D'INDUSTRIE (résineux) (1000 m ³)	BOIS ENERGIE* (1000 m ³)
1990	10 156	15 260	5 194	5 808	4 962
1991	9 724	14 077	5 435	6 283	5 204
1992	9 043	13 340	5 459	6 513	5 232
1993	8 033	12 509	4 732	5 901	4 476
1994	8 131	13 767	5 479	6 876	5 272
1995	8 290	14 374	5 523	7 271	5 292
1996	7 771	13 649	4 820	6 130	4 589
1997	7 845	14 245	5 342	6 495	5 055
1998	7 863	15 107	5 228	6 342	4 928
1999	7 952	15 240	5 366	6 503	5 065
2000	9 598	22 619	5 342	8 561	5 049
2001	7 642	18 952	4 788	8 477	4 494
2002	6 002	16 631	4 913	7 146	4 659
2003	5 719	15 120	5 142	6 283	4 902
2004	5 671	15 240	5 355	6 826	5 108
2005	5 858	14 741	5 375	6 799	5 106
2006	5 854	15 633	5 164	6 820	4 856
2007	6 343	16 427	5 315	6 870	5 042
2008	6 086	15 048	4 983	6 384	4 722
2009	5 228	17 265	4 113	8 235	3 819
2010	5 121	15 922	4 386	9 819	4 137
2011	5 505	15 492	4 481	8 142	4 213
2012	4 978	13 239	4 643	6 693	4 336
2013	4 862	13 673	4 255	6 148	3 888
2014	5 209	14 136	4 722	6 400	4 387
2015	5 145	13 673	4 717	6 025	4 442
2016	5 392	13 698	4 615	5 945	4 327
2017	5 304	14 127	4 584	5 958	4 257
2018	5 443	14 599	4 614	5 726	4 133
2019	5 313	14 245	4 420	6 112	4 049
2020	5 313	14 245	4 420	6 112	4 049

*Cette valeur intègre 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.

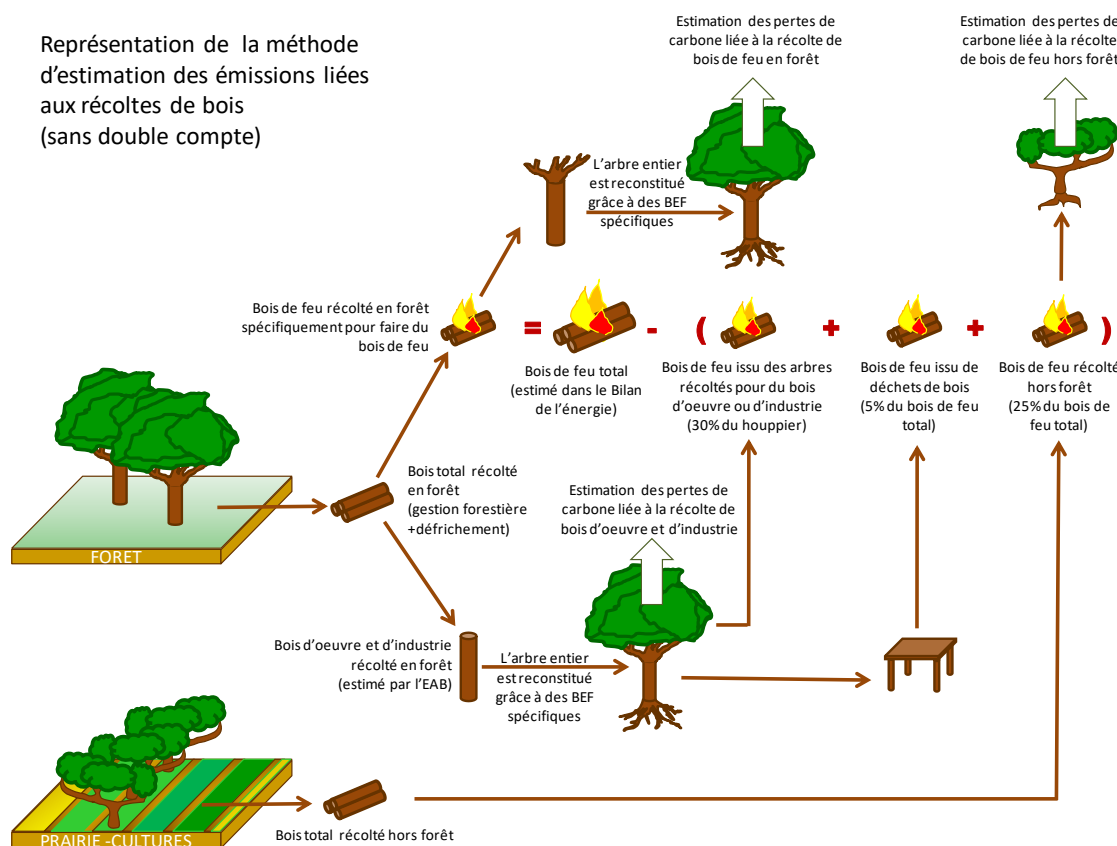
Les prélèvements sont estimés par la méthode « modèle » avec l'équation suivante.

$$P_{\text{modèle}_i} = \text{Récoltes_SSP}_i \bullet \text{BEF} + \text{Récolte_BE}_{(i)} \bullet (1 - \% \text{hors_forêt} - \% \text{houppiers}) \bullet \text{BEF_BE} - \text{R_Défrichement_Modele}_i$$

Avec :

$P_{\text{modèle}_i}$	=	Prélèvement de bois l'année i estimé par la méthode « modèle »
Récoltes_SSP_i	=	Récoltes commerciale de bois matériau estimée par le SSP pour l'année i
BEF	=	Facteur d'expansion de biomasse applicable aux récoltes de bois matériau
$\text{Récolte_BE}_{(i)}$	=	Récolte de bois énergie estimée pour l'année i
$\% \text{hors_forêt}$	=	Part du bois énergie récolté en forêt
$\% \text{houppiers}$	=	Part des houppiers exploités pour du bois énergie

Représentation de la méthode
d'estimation des émissions liées
aux récoltes de bois
(sans double compte)



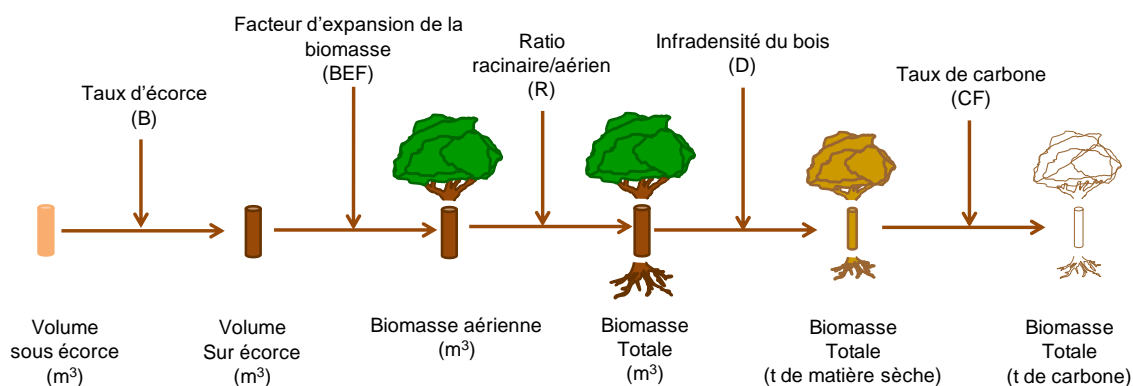
Pour les résultats produits par l'IGN, les volumes de biomasse totale sont obtenus par des tarifs de cubage [595] à savoir des équations qui peuvent s'appliquer aux caractéristiques de chaque arbre (espèce, circonférence, hauteur). Dans la méthode « modèle » il n'est pas possible d'utiliser ces tarifs 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].

	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

Dans le cas 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 167 : 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 178 : 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 »

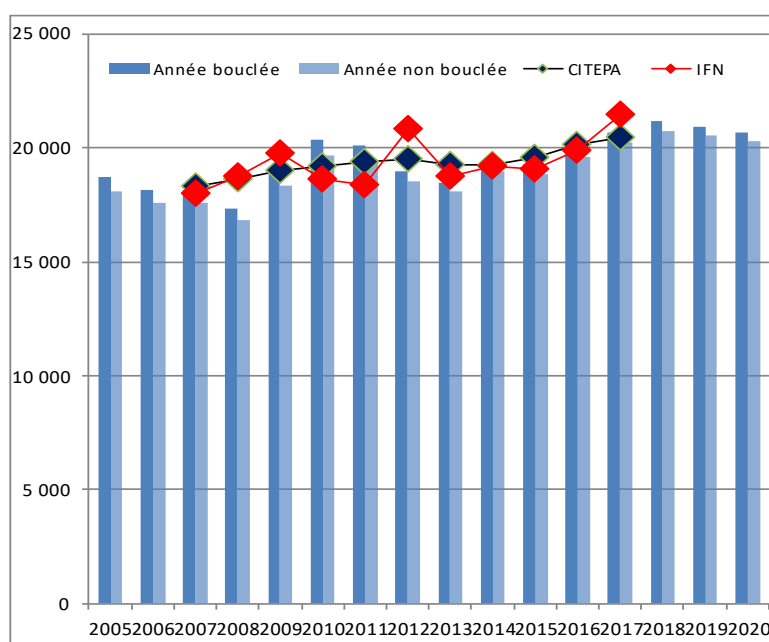
Il existe donc deux méthodes pour estimer les prélèvements en forêt, la méthode « modèle » basée sur les lignes directrices du GIEC 2006 et la méthode « directe » de mesure des prélèvements par l'IGN. Ces deux méthodes sont combinées dans l'inventaire de GES actuel et les prélèvements sont estimés à partir de l'équation suivante.

$$\text{Prélèvement}_i = P_{\text{modèle}_i} \bullet P_{\text{Forêt_IGN}_{2005/20xx}} / P_{\text{modèle}_{2005/20xx}}$$

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 168 : Représentation de l'ajustement sur la base des données de prélèvement direct issues de l'IFN (en tC aérien et racinaire)



$$\text{Équation 21 (Forêts)} \\ P_{FF_{ij}} = \text{Prélèvement}_{ij}$$

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 m³ 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 m³ de récolte en 1990 et environ 73 000 m³ pour les années récentes. En Guyane française, la situation est un peu différente car la superficie de la forêt est très importante, mais le faible niveau de l'exploitation forestière peut s'expliquer par plusieurs raisons : la faible densité de la population, la faible valeur du bois en Guyane française comparés au 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 179 : Données forestières pour les départements d'Outre-mer

	Guadeloupe	Martinique	Guyane	La Réunion	Métropole
Surface (1000 ha)	64	49	8 082	88	15 500
Stock (1000 m ³)	26 000	15 000	2 829 000	17 000	2 500 000
Récolte (1000 m ³)	<0.5	2	73	11	45 000

Sources : Mémento Agreste Filière Forêt-Bois édition 2012 [532], IGN/IFN [202]

Cette faible exploitation des forêts ultramarines explique l'absence d'inventaire forestier et les quelques données de récolte disponibles. Pour les années les plus récentes, la récolte annuelle sur

ces quatre territoires cumulés est estimée à 86 000 m³ de bois. A titre de comparaison la récolte dans la partie métropolitaine est estimée à environ 45 000 000 m³, 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.

Considérant que le niveau de récolte est très faible et qu'il est difficile actuellement d'estimer précisément les accroissements dans les 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.

<p>Équation 22 (Forêts)</p> $\text{Mortalité}_{FF_{ij}} = \text{Mortalité}_{ij} \bullet A_{FF_{ij}} \bullet \text{Mort}_{FF_{ij}} / (A_{FF_{ij}} \bullet \text{Mort}_{FF_{ij}} + A_{AF_{ij}} \bullet \text{Mort}_{AF_{ij}})$
--

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).

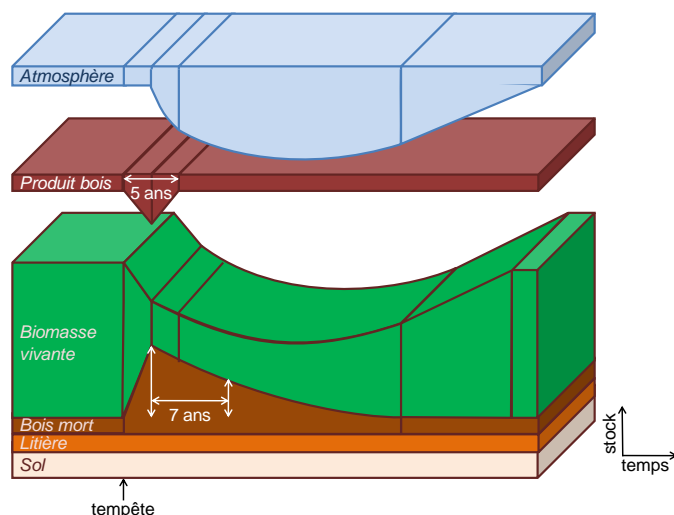
Mortalité exceptionnelle - tempêtes

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 Mm³ 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 Mm³ 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 169 : 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 CO₂ 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).

Équation 23 (Forêts)

$$L_{\text{disturbances}} = (\text{Chablis} - \text{Chablis}_{\text{prélevé}}) \cdot \exp(-k \cdot n)$$

Avec :

$L_{\text{disturbances}}$	=	Pertes de carbone annuelle, tC/an
Chablis	=	Quantité de carbone dans les chablis, tC
$\text{Chablis}_{\text{prélevé}}$	=	Quantité de carbone dans les chablis récoltés après tempête, tC
k	=	$0,1 \text{ an}^{-1} (=1/10 \text{ ans})$
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 (N₂O, NO_x, CO et CH₄) en plus du CO₂. Le volume de bois brûlé sur site est mal connu. Il est donc estimé à partir des données par défaut du GIEC en supposant que 10% de la biomasse aérienne est laissée en décomposition et que le reste des rémanents est brûlé ce qui correspond à une fourchette de 4% à 15% de la biomasse aérienne totale selon les essences. Ces émissions sont estimées à partir des facteurs d'émission du GIEC 2006.

Équations 24 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.27 du GIEC 2006 [672])

$$\text{Emissions} = \text{Quantité}_{\text{brûlée}} \cdot \text{Facteur}_{\text{oxydation}} \cdot \text{Facteur}_{\text{Emission}}$$

Avec :

Emissions	=	Emissions de CH ₄ , N ₂ O, CO et NO _x , t
Quantité _{brûlée}	=	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 // NO _x = 3 // N ₂ O = 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 CO₂ de la biomasse vivante vers l'atmosphère.

La combustion de biomasse lors des feux de forêt génère des émissions de différents polluants : SO₂, NO_x, COVNM, CO, NH₃, 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.

En France métropolitaine, pour estimer les émissions des incendies de forêt, on considère séparément deux grandes zones : la zone méditerranéenne, qui est plus sujette aux incendies de forêt que le reste du territoire, et qui présente une densité de biomasse inférieure aux autres forêts métropolitaines. Depuis 2006, les surfaces brûlées annuellement proviennent de la Base de données sur les feux de forêts (BDIFF) [723]. Cette base de données présente chaque feu de forêt, sa localisation et sa superficie. Les surfaces sont ainsi réparties entre la zone méditerranéenne et le reste de la métropole. Pour les années antérieures à 2006, les surfaces de la zone méditerranéenne proviennent de la base PROMETHEE [297] et les surfaces pour le reste de la France, proviennent du Ministère chargé de l'agriculture [298].

En Outre-mer appartenant à l'UE (périmètre Kyoto), différentes sources sont utilisées pour estimer les surfaces brûlées : la BDIFF [723], la DRAAF Réunion [601] pour cette île qui est le seul territoire d'Outre-Mer fréquemment sujette à des incendies ; et divers documents officiels [724, 725, 726] pour tenir compte de la particularité de ces territoires (cultures sur brûlis, feux de brousse). En Outre-mer hors UE, des surfaces brûlées sont uniquement rapportées en Nouvelle-Calédonie, sur la base de produits satellites (MODIS [1205]).

Tableau 180 : Surfaces incendiées en France depuis 1990

ANNEE	METROPOLE (Zone Prométhée)	METROPOLE (hors Zone Prométhée)	Feu-for.xlsx	
			OUTRE-MER (inclus dans l'UE)	OUTRE-MER UE (non inclus dans l'UE)
1990	53 897	18 728	1 055	15 565
1991	6 549	3 581	1 036	15 565
1992	12 765	3 828	1 055	15 565
1993	11 901	4 797	1 043	15 565
1994	22 605	2 390	1 033	15 565
1995	9 988	8 149	1 067	15 565
1996	3 119	8 281	1 502	15 565
1997	12 250	9 331	1 015	15 565
1998	11 243	8 039	1 111	15 565
1999	12 782	3 124	1 808	15 565
2000	18 860	5 218	1 021	1 542
2001	17 965	2 677	1 094	5 648
2002	6 298	23 871	1 080	38 424
2003	61 424	11 576	1 013	17 875
2004	10 596	3 104	1 018	31 481
2005	17 356	5 044	1 068	13 843
2006	5 483	2 418	1 082	14 343
2007	6 485	2 086	1 013	5 415
2008	3 746	2 260	1 052	3 117
2009	11 112	5 888	1 065	11 575
2010	6 184	3 417	1 989	10 010
2011	4 499	4 535	3 729	13 850
2012	4 383	3 781	1 826	4 232
2013	1 922	1 310	731	12 170
2014	4 113	3 330	1 574	16 103
2015	3 048	8 036	1 414	15 836
2016	12 140	3 954	1 125	16 785
2017	19 692	6 603	319	38 026
2018	3 065	1 941	657	10 361
2019	18 000	5 500	2 168	39 536
2020	13 704	3 426	492	5 892

Les émissions sont estimées au moyen de facteurs d'émission spécifiques à chacune de ces deux zones pour refléter dans la mesure du possible les différences de type de végétation et leur densité.

Les émissions dépendent de la quantité de biomasse effectivement brûlée :

Equation 25 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.14 du GIEC 2006 [672])

$$L_{\text{wild_fires}} = \sum_i A_{\text{burnt}(i)} \bullet BW_i \bullet \text{Frac_burn}_i \bullet CF$$

Avec :

L_{wild_fires}	=	Pertes de carbone annuelle liée aux feux, t C/an
i	=	Sylvoécorrégiion (85 sylvoécorrégions en France métropolitaine)
$A_{burnt(i)}$	=	Surface brûlée annuelle dans la sylvoécorrégiion i , ha
BW_i	=	Stock de biomasse aérienne sur les surfaces brûlées dans la sylvoécorrégiion i , t MS/ha
$Frac_burn$	=	Fraction de la biomasse effectivement brûlée brûlées dans la sylvoécorrégiion i
CF	=	Fraction en carbone de la biomasse, t C/t MS (0,475)

Le stock de biomasse aérienne BW_i est estimé à partir des résultats de l'IFN par sylvoécorrégiion. La part effectivement brûlée, autrement dit l'efficacité du brûlage, est selon Simpson et al. 1999 [795], de 0,25 pour la région méditerranéenne (zone prométhée et Outre-mer) et de 0,2 pour les régions tempérées (reste de la métropole).

Tableau 181 : Stocks de biomasse et facteur d'efficacité de la combustion

Zone géographique (i)	Stock de biomasse aérienne (en tMS/ha)	Efficacité de la combustion (Frac_burn)
Zone « Prométhée » = Méditerranée	40-80 (selon les années)	0,25
Autres zones en Métropole	50-150 (selon les années)	0,2
La Réunion	103	0,25
Guyane	350	0,25
Martinique	256	0,25
Guadeloupe	189	0,25
Mayotte	159	0,25

L'estimation des pertes de carbone lors des feux de forêt ne prend pas en compte les réservoirs de litière et de bois mort. Les feux de végétation hors forêt ne sont pas estimés en Métropole. Ils le sont en Outre-Mer.

Les facteurs d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants pour les feux sont présentés plus bas.

Biomasse morte (Forêts restant forêts)

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 26 (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

Méthode des flux

Pour calculer les flux de carbone liés au bois mort, la méthode des flux est appliquée.

Équation 27 (Forêts) (Méthode des flux inspirée de l'équation 2.18 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CFF_{DW} = [A \bullet (B_{into} - B_{out})] \bullet CF$$

Avec:

ΔCFF_{DW}	=	Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les forêts restant forêt, tC/an
A	=	Surface de forêt gérée restant forêt, ha
B_{into}	=	Flux moyen entrant pour le réservoir bois mort, t MS/ha/an
B_{out}	=	Flux moyen sortant pour le réservoir bois mort, t MS/ha/an
CF	=	Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS

Données et hypothèses

Dans les inventaires français, le paramètre B_{into} est estimé, il correspond à la mortalité, mais le paramètre B_{out} n'a pas pu être estimé de manière pertinente, il a donc été considéré équivalent à la mortalité ce qui correspond à une stabilité du stock de carbone dans le bois mort. On considère donc dans l'inventaire actuel que $B_{into} = B_{out}$, que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps. Cette hypothèse de stabilité est appliquée pour toutes les terres en forêt gérée restant forêt sauf après les tempêtes (voir § 2.4.1.2.3).

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.

Discussion

Une approche par variation de stock pourrait aussi être envisagée.

Méthode (non appliquée) d'estimation de la variation de stock du bois mort

La méthode de variation de stock du bois mort, d'après les lignes directrices du Giec [672] peut être résumée par l'équation ci-après :

$$\Delta CFF_{DW} = [A \bullet (B_{t2} - B_{t1}) / T] \bullet CF$$

*Équation 27 (Forêts)
inspirée de l'équation 2.19 du GIEC 2006 [672]*

Avec :

ΔCFF_{DW} = Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les forêts restant forêt, t C/an

A = Surface de forêt gérée restant forêt, ha

B_{t1} = Stock de carbone dans le bois mort à l'instant t_1 pour les forêts gérées restant forêt, t MS/ha

B_{t2} = Stock de carbone dans le bois mort à l'instant t_2 pour les forêts gérées restant forêt, t MS/ha

T = Période ($t_2 - t_1$), an

La méthode par variation de stock n'a pu encore être mise en place en raison de l'absence d'une série temporelle cohérente pour le suivi des stocks de carbone du bois mort. Cette information pourra sans doute être estimée à l'avenir grâce aux nouvelles données récoltées par l'inventaire forestier.

Litière

Approche appliquée

Pour la litière le constat est proche de celui observé sur le bois mort, les équations sont similaires avec tout de même la possibilité d'intégrer l'évolution de l'intensité sylvicole dans l'estimation des stocks de carbone. En pratique aucune donnée n'a été identifiée permettant de traduire un niveau d'intensité sylvicole. Comme pour le bois mort il a donc été considéré que le stock de carbone de la litière n'évolue pas au cours du temps dans les forêts restant forêts, et que les flux entrants sont égaux aux flux sortants.

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 du Protocole de Kyoto 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.

Sols en forêt restant forêt

Calcul de la variation de stock de carbone organique du sol ($\Delta CFF_{\text{soils}}$)

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.

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, et lancée par le ministère de l'Agriculture français en vue de répondre aux exigences de rapportage du Protocole de Kyoto, étude 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 précise n'est simplement pas faisable à ce stade.

6.4.2.2 Terres devenant forêts (4A2)

Biomasse vivante (Terres devenant forêts)

Calcul de la variation de stock (ΔCLF_{LB})

Le stock de carbone de ce réservoir 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.

<p>Équation 28 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.4 du GIEC 2006 [672])</p> $\Delta CLF_{LB} = (\Delta CLF_G - \Delta CLF_L)$

Avec :

ΔCLF_{LB}	=	Variation de stock annuelle du carbone de la biomasse vivante (aérienne et souterraine) des forêts restant forêts, t C/an
ΔCLF_G	=	Gain annuel en carbone de la biomasse vivante, t C/an
ΔCLF_L	=	Perte annuelle en carbone de la biomasse vivante, t C/an

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,
- 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 grâce à l'équation suivante.

Équation 29 (Forêts) (inspirée de l'équation 2.9 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta CLF_G = \sum_{ij} (A_{ij} \bullet GTOTAL_LF_{ij}) \bullet CF$$

Avec :

ΔCLF_G	=	Accroissement annuel en carbone dans les terres devenant forêts, t C/an
A_{ij}	=	Surfaces de terres devenant forêts, par type de forêt (i = 1 à n) et par zone climatique (j = 1 à m), ha
$GTOTAL_LF_{ij}$	=	Accroissement moyen annuel en matière sèche (MS) sur les terres devenant forêts, par type de forêt (i = 1 à 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 forêt (feuillus, résineux, mixtes et peupliers) et $m = 5$ régions climatiques (Nord-Ouest, Nord-Est, Centre-Est, Sud-Ouest, Sud-Est).

Les données d'accroissement disponibles pour les terres devenant forêt sont issues de l'inventaire forestier mais sont plus incertaines que les données les plus récentes fournies par l'IGN relatives à la forêt totale. Ces données sont donc retraitées pour être mises en cohérence avec les données les plus récentes grâce à l'équation suivante.

Équation 30 (Forêts)

$$GTOTAL_LF_{ij} = GTOTAL_{ij} \bullet A_LF_{ij} \bullet Acc_LF_{ij} / (A_FF_{ij} \bullet Acc_FF_{ij} + A_LF_{ij} \bullet Acc_LF_{ij})$$

Avec :

$GTOTAL_LF_{ij}$	=	Accroissement normalisé moyen annuel en matière sèche (MS) sur les terres devenant forêt, par type de forêt (i = 1 à n) et par zone climatique (j = 1 à m), t MS/ha/an
$GTOTAL_{ij}$	=	Accroissement moyen annuel 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
Acc_FF_{ij}	=	Accroissement moyen annuel en MS sur les forêts restant forêt, t MS/ha/an
Acc_LF_{ij}	=	Accroissement moyen annuel en MS sur les terres devenant forêt, t MS/ha/an

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 31 (Forêts)

$$\Delta CLF_L = \sum_{ij} (Mortalité_LF_{ij}) \bullet CF$$

Avec :

ΔCFF_L	=	Pertes totales
$Mortalité_LF_{ij}$	=	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

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.

$$\text{Mortalité_LF}_{ij} = \text{Mortalité}_{ij} \bullet A_LF_{ij} \bullet \text{Mort_LF}_{ij} / (A_FF_{ij} \bullet \text{Mort_FF}_{ij} + A_LF_{ij} \bullet \text{Mort_LF}_{ij})$$

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 forêts)

Variations du stock (ΔCLF_{DOM})

Les variations de stock de carbone pour la biomasse morte sont ensuite décomposées entre bois mort et litière.

$$\Delta CLF_{DOM} = \Delta CLF_{DW} + \Delta CLF_{LT}$$

Avec :

ΔCLF_{DOM}	=	Variation annuelle de stock dans la biomasse morte dans les terres devenant forêts, t C/an
ΔCLF_{DW}	=	Variation de stock dans le bois mort dans les terres devenant forêts, t C/an
ΔCLF_{LT}	=	Variation de stock dans la litière dans les terres devenant forêts, t C/an

Bois mort (ΔCLF_{DW})

La conversion d'une terre en forêt s'accompagne de la création du réservoir bois mort et donc d'un stockage de carbone dans ce réservoir. Dans l'inventaire français actuel, ce stockage est estimé par la méthode de la variation de stock.

$$\Delta CLF_{DW} = [A \bullet B / T] \bullet CF$$

Avec :

ΔCLF_{DW}	=	Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les terres devenant forêt, t C/an
A	=	Surface de terres devenant forêts, ha
B	=	Stock de carbone de référence pour le bois mort des forêts, t MS/ha
T	=	Durée pour atteindre le stock de carbone de référence pour le bois mort des forêts, an (T= 20 ans dans l'inventaire français)
CF	=	Fraction en carbone en matière sèche t C/t MS

Litière(ΔCLF_{LT})

Le passage en usage forêt d'une terre s'accompagne de la création du réservoir litière et donc d'un stockage de carbone dans ce réservoir. Dans l'inventaire français actuel, ce stockage est estimé par la méthode de la variation de stock.

$$\Delta CLF_{LT} = [A \bullet B / T] \bullet CF$$

$$\Delta CLF_{LT} = A \bullet C / T$$

Avec :

ΔCLF_{LT}	=	Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les terres devenant forêt, t C/an
A	=	Surface de terres devenant forêts, ha
C	=	Stock de carbone de référence pour la litière des forêts, t C/ha
T	=	Durée pour atteindre le stock de carbone de référence pour la litière des forêts, an (T= 20 ans dans l'inventaire français)

Sols (terres devenant forêts)

Variations de stock de carbone organique du sol (ΔCLF_{soil})

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.

6.4.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

Incertitude générale de l'UTCATF

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).

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 CO₂ 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 CH₄ et de N₂O 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.

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 les réservoirs de litière et de bois mort.

6.4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Les dispositions générales décrites dans le paragraphe 1.2.3 sont appliquées.

Forêt en métropole

Les valeurs utilisées dans cette catégorie de l'inventaire sont pour la plupart issues de l'inventaire forestier national, qui comprend un travail d'assurance qualité et de vérification de la représentativité des statistiques produites.

Forêt en Outre-Mer

L'hypothèse de neutralité peut être comparée avec une approche Giec de niveau 1. En Guyane, l'hypothèse de neutralité sur toute la forêt n'est plus appliquée et une méthode gains-pertes est mise en place pour toutes les terres ayant subi un prélèvement de bois au cours de la période couverte. Pour les autres territoires, les calculs suivants ont été réalisés à titre de comparaison, ils ne participent pas aux résultats de l'inventaire actuel.

Surfaces

Les données de surface en forêt prises en compte dans les calculs de flux sont obtenues par télédétection (études IFN [6, 7, 8]) sauf pour la Guyane pour laquelle la surface de forêt en exploitation est fournie par l'ONF [5].

Tableau 182 : 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 183 : 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 conservatrice correspondant à une longue saison sèche longue a été retenue.

Tableau 184 : Résultats intermédiaires pour l'accroissement en Outre-Mer

	Accroissement (tC)			
	Réunion	Martinique	Guadeloupe	Guyane
1990	58 911	26 091	41 541	2 532 202
1995	57 896	24 322	40 053	2 532 202
2000	56 880	22 553	38 564	2 532 202
2005	55 865	20 784	37 076	2 532 202
2010	54 850	19 015	35 587	2 532 202

Prélèvements

La formule utilisée pour calculer les prélèvements de biomasse forestière en tonnes de carbone est l'équation 3.2.3 du GIEC 2003.

$$C = V * D * BEF2 * (1+R) * CF$$

Avec :

- C = Prélèvements (tC).
- V = Volumes prélevés commercialisables (m3)
- D = Densité (tMS/m3)
- BEF2 = Facteur d'expansion aérien (sans dimension).
- R = Rapport racinaire / aérien (sans dimension).
- CF = Fraction de carbone de la matière sèche (tC/tMS).

Paramètre	Guyane	Source	Réunion	Source	Martinique	Source	Guadeloupe	Source
V	Volumes de grumes prélevés + pertes additionnelles.	IEDOM [1] + Rapport ONF Guyane. CIRAD [4]	Volumes de grumes prélevés.	IEDOM [1]	Volumes de grumes prélevés.	IEDOM [1]	Volumes de grumes prélevés.	IEDOM [1]
	Volumes de bois de chauffe+ autres bois industriels	FAOSTAT [2]	Bois de chauffe+ Autres bois industriels.	FAOSTAT [2]	Bois de chauffe+ Autres bois industriels.	FAOSTAT [2]	Bois de chauffe+ Autres bois industriels.	FAOSTAT [2]
			Récoltes dans les forêts gérées par ONF(2010).	Agreste 2012 [3]	Récoltes dans les forêts gérées par ONF(2010).	Agreste 2012 [3]	Récoltes dans les forêts gérées par ONF(2010).	Agreste 2012 [3]
D	0,73.	Rapport ONF Guyane. CIRAD [4]	0,5.[Giec]*.	GIEC 2003	0,5.[Giec]*.	GIEC 2003	0,5.[Giec]	GIEC 2003
BEF2	3,4. Valeur pour forêts tropicales à feuilles larges.	GIEC 2003. Table 3A.1.10	1,3.Valeur pour forêts tropicales de conifères.	GIEC 2003. Table 3A.1.10	1,3. Valeur pour forêts tropicales de conifères.*	GIEC 2003. Table 3A.1.10	1,3. Valeur pour forêts tropicales de conifères.	GIEC 2003. Table 3A.1.10
CF	0,475	Carbofor. INRA [4]	0,475	Carbofor. INRA [4]	0,475	Carbofor. INRA. [4]	0,475	Carbofor. INRA. [4]

* Faute de données précises sur la composition des forêts de ces territoires, la valeur de densité (D) par défaut de 0,5 du Giec est utilisée. Elle reste cohérente avec les essences majoritairement exploitées sur ces territoires : Cryptomeria (D= 0.43 ; 0.44) et Tamarin (D= 0,75) pour la Martinique ; Acajou (D=0,55) pour la Réunion [Giec 2003, tableau 3A.1.9-2].

Pour déterminer les volumes (V) prélevés, on utilise les données IEDOM [1], pour les années disponibles, qui sont plus précises que les statistiques de la FAO [2]. On complète si nécessaire avec les données du mémento Agreste [3] et on extrapole entre les deux si c'est possible sinon on assume un prélèvement constant à partir de la dernière année connue. On ajoute aux volumes de grumes les volumes de bois de chauffe et les autres bois industriels [2] pour connaître le volume total prélevé.

Tableau 185 : 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 186 : Bilan d'émission des forêts des DOM (tCO2)

	Bilan (tCO2)			
	Réunion	Martinique	Guadeloupe	Guyane*
1990	-159 095	-70 469	-125 701	-7 397 946
1995	-154 110	-63 983	-122 904	-7 789 033
2000	-151 890	-59 909	-117 446	-7 904 724
2005	-143 460	-54 962	-111 988	-7 660 430
2010	-135 031	-50 231	-106 530	-7 378 664

* Puits estimé à partir des 2,4 Mha de forêts dites d'exploitation, ce puits ne correspond pas à ce qui est actuellement incorporé dans l'inventaire où seules les surfaces effectivement sujettes à une exploitation ont été prises en compte et pour lesquelles les gains et pertes se compensent.

Références :

- [1] IEDOM. Rapports annuels de l'Institut d'Emission des Départements d'Outre-mer.
- [2] FAOSTAT. Plateforme internet de statistique. <http://faostat.fao.org/>.
- [3] Agreste. Forêt-Bois. Memento 2012.
- [4] Rapport CARBOFOR. Juin 2004.
- [5] IFN- Suivi de l'occupation du sol et des changements d'occupation du sol en Guyane par télédétection satellitaire - Rapport final, janvier 2008.
- [6] IFN- Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 1- Guadeloupe - Rapport final, août 2009.
- [7] IFN- Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 1- Martinique -Rapport final, août 2009. [8] IFN- Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 1- Réunion -Rapport final, août 2009

6.4.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRF 4A

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO2e	-39 594	-44 743	-33 719	-65 309	-68 871	-70 244	-72 521	-62 537	-59 091	-57 084	-59 238	-61 935	-55 241	-51 811	-54 355	-52 105	-50 725	-51 092	0
Nouveau	kt CO2e	-38 567	-43 840	-32 816	-64 682	-68 306	-69 695	-71 928	-61 925	-58 478	-56 786	-59 280	-62 258	-55 509	-51 980	-42 589	-33 122	-30 532	-29 084	-30 438
Différence	kt CO2e	+1 027	+903	+903	+626	+565	+549	+593	+612	+614	+299	-42	-323	-268	-169	+11 766	+18 982	+20 193	+22 008	-30 438
	%	-3%	-2%	-3%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	+0%	+1%	+0%	+0%	-22%	-36%	-40%	-43%	-

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

Description des recalculs

- Dans l'édition 2021 du NIR, la dernière campagne de l'Inventaire Forestier National (IFN) n'était pas disponible et les valeurs concernant la croissance et la mortalité en forêt n'avaient pu être actualisées pour les années récentes. Pour l'édition 2022, les deux dernières campagnes de l'IFN (2014-2018 relative à 2016 ; 2015-2019 relative à 2017) ont été prises en compte pour estimer les années 2016 et 2017. Cette mise à jour a de très forts impacts sur le bilan forestier.
- Les consommations de bois énergie ont été mises à jour pour être en phase avec le Bilan de l'énergie (et notamment son volet Outre-mer).
- Pour la Guyane : le bilan forestier a été ajusté en mettant en lien les dégâts en forêt avec les données de récolte et en incluant une diminution progressive de la part des dégâts occasionnés. Les récoltes ont été mises à jour en intégrant les récoltes annuelles effectives.

Raisons et justifications

- Les données IFN de croissance et de mortalité pour les années 2016 et 2017 sont très différentes des hypothèses par défaut qui avaient été faites lors de l'édition précédente. La croissance biologique des arbres a fortement ralenti et la mortalité des arbres a très fortement augmenté, par l'effet de sécheresses répétées et d'épisodes sanitaires comme le scolyte. En moyenne pour les années 2016 à 2019, le recalcul du bilan forestier est dû à environ 55% au remplacement de valeurs par défaut de mortalité par des vraies valeurs IFN de mortalité ; et à environ 45% au remplacement de valeurs par défaut de croissance par des vraies valeurs IFN de croissance. Le recalcul des prélèvements a très peu d'impacts en comparaison. La question du remplacement d'hypothèses par défaut par des données réelles continue de se poser : en effet, comme pour les éditions précédentes, les années ultérieures (en l'occurrence 2018, 2019 et 2020) sont extrapolées sur cette base avec des hypothèses par défaut. Néanmoins, l'approche d'extrapolation a été améliorée cette année pour la mortalité.

6.4.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report/ paragraph	MS response / status of implementation
LULUCF	4.A Forest land - CO2 (L.14, 2019) (L.12, 2017) (L.9, 2016) (L.9, 2015) (91, 2014) Transparency	Provide more transparent information regarding the integration between TERUTI and the NFI data, and also explain the reasons for the changes in the nomenclature of TERUTI and the per cent coverage of the sampled data for TERUTI and NFI purposes.	The Party did not report any changes to increase transparency in its NIR of 2020. During the review, the Party clarified that this is not a requirement since they use tier 2 methodologies instead of tier 3. The ERT considers that the recommendation still holds since it would increase the transparency of the calculations as a whole, independent of the tier used.	2021 Review PMF* / L.7	Implemented. Explanations have been provided in the latest NIR submission 2022.
LULUCF	4.A Forest land - CO2 (L.15, 2019) (L.13, 2017) (L.11, 2016) (L.11, 2015) (95, 2014) (90, 2013) Accuracy	Assess and report on the potential impact of using NFI data on carbon stocks and carbon stock changes, calculated over the NFI area, together with the TERUTI areas data set.	The Party reported in its NIR many explanations on the methodology to include both TERUTI (p. 568) and NFI in the French inventory. It is updated each year. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has different sets of data capable of tracking land use, but it is not easy to compare them owing to differences in nomenclature, time period covered and spatial resolution. So for land converted to other land, this still needs to be addressed (see #L.11 in 2020)	2021 Review PMF* / L.8	partially implemented

6.4.7 Améliorations envisagées

Les nouvelles données de l'Inventaire forestier national, d'ores et déjà incorporées dans l'inventaire, seront encore ajustées et complétées suite aux campagnes de mesure futures. Il est donc important de s'assurer que ces données pourront être intégrées dans l'inventaire tous les ans mais il s'agit de données complexes dont la prise en compte progressive nécessite la mise en place de nouveaux protocoles. Un des enjeux les plus importants à court terme est encore de formaliser la prise en compte des nouvelles données issues de l'inventaire forestier français.

Il est en particulier prévu de consolider l'évolution du stock forestier grâce à une méthode globale de variation de stock (actuellement les résultats sont obtenus par méthode des flux).

Pour les sols forestiers, différentes études donnent des puits de carbone dans les sols forestiers (en lien avec l'augmentation des stocks de biomasse), il est donc probable que cette dynamique soit intégrée dans les années qui viennent, mais cela ne sera réellement pertinent que lorsque les résultats de la seconde campagne de mesure du RMQS (Réseau de mesure de la qualité des sols) seront disponibles. Les données actuellement disponibles ne remplissent pas suffisamment les critères de représentativité jugés nécessaires à une inclusion dans l'inventaire national.

En termes de problématiques forestières, certaines réflexions portent sur les pratiques forestières et notamment la part des résidus de récolte brûlés en forêts, ramassés ou bien laissés en décomposition. Des modifications sur la prise en compte de ces pratiques forestières ne sont néanmoins pas attendues à court terme.

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. En revanche le brûlage sur site de résidus de récolte de bois est fortement questionné et pourrait être supprimé ou fortement modifié à la baisse, pour donner suite aux retours d'experts et en l'absence de données justifiant cette pratique.

Amélioration du suivi des terres entre métropole et outre-mer

Une réflexion est engagée au niveau national pour consolider le système d'information géographique dans les territoires d'Outre-mer notamment en étendant le domaine d'intervention de l'IGN aux forêts ultramarines ce qui permettra la collecte de nouvelles données sur les zones forestières qui sont les plus importantes pour le secteur. La France a conduit deux études en 2017 avec pour objectif d'améliorer la régularité de la production de données forestières dans les territoires ultramarins et de répondre au besoin de rapportage en lien avec les accords internationaux en matière de politique climatique en particulier aux engagements climat :

- *Productions régulières et planifiées de données forestières sur les territoires ultramarins. État des lieux et perspectives* (IGN/MAA-Janvier 2017). L'étude propose différentes solutions de production de données homogènes permettant de mieux appréhender les milieux forestiers des territoires ultra-marins et de mieux répondre aux politiques publiques. Les éléments de cadrage de cette étude visent deux exercices de rapportage forestier, l'évaluation des ressources forestières (FRA) dans le cadre de la FAO et les indicateurs de gestion durable des forêts françaises (IGD), mais n'incluent pas explicitement le rapportage climatique.
- *Carthaforum- Missions sur la faisabilité d'une cartographie régulières des habitats forestiers ultramarins et du suivi des évolutions* (Ecofor-MTE- juin 2017) Cette étude fait suite à la loi n°2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture et la forêt (LAAF, article 86 § 2), qui a modifié le Code forestier en introduisant un article L-151-3 ainsi rédigé: « L'inventaire permanent des ressources forestières nationales prend en compte les particularités des bois et forêts situés en Guadeloupe, en Guyane, en Martinique, à La Réunion, à Mayotte, à Saint-Barthélemy, à Saint-Martin et à Saint-Pierre-et-Miquelon. »
- Plusieurs jeux de données sur le suivi de l'occupation du sol en Outre-mer (sur un ou plusieurs territoires) sont aussi disponibles : TerUti-Lucas, Corine Land Cover, Vancutsem et al. 2021, OCSge, TropiSCO. Vancutsem et al. 2021 est d'ores-et-déjà utilisé pour la Guyane pour les années récentes. Des travaux supplémentaires sont envisageables, dans la suite de l'approche spatialement explicite en construction pour la France métropolitaine.

- D'autres données sur les stocks de biomasse comme la carte de Fayad et al. 2016²⁰ sur la Guyane, la carte de Potapov et al. 2021²¹ mobilisant les données GEDI et LANDSAT ou encore les travaux d'Avitabile et al. 2016²² sont aussi des sources de données pressenties pour améliorer la précision des estimations.

Suite à la récente réalisation de ces études, la France analyse actuellement les différentes solutions proposées.

Suivi des stocks de biomasse forestière

Actuellement il n'est pas possible d'estimer directement l'évolution des stocks de biomasse forestière. Les valeurs de stock de carbone à l'hectare de la biomasse vivante forestière perdue lors de défrichements ne correspondent pas aux stocks moyens en forêt. Une approche par différentiel de stock en forêt restant forêt est envisagée à partir de travaux de l'IGN en cours.

Une approche par variation de stock est envisageable, en complément de l'approche des flux actuellement appliquée. Un travail de l'IGN pourrait permettre une première estimation de la variation de stock de carbone en forêt restant forêt, qui pourra être comparée avec le bilan des flux mesurés jusqu'ici.

Biomasse racinaire

Les valeurs utilisées issues de l'étude Carbofor [204] de 0,3 pour les feuillus et de 0,28 pour les résineux sont cohérentes avec les valeurs proposées par le Giec (2006, vol 4, chap. 4, table 4.4), allant pour la zone tempérée de 0,2 à 0,4.

Teneur en carbone de la biomasse forestière

Des travaux sont actuellement en cours pour affiner les valeurs de teneur carbone dans la biomasse forestière notamment le projet XyloDensMap qui a permis d'évaluer les densités du bois des carottes forestières prélevés par l'inventaire forestier français. L'actualisation de ces données pourraient modifier significativement les résultats forestiers.

Bois mort

Pour le bois mort, une approche par variation de stock pourrait aussi être envisagée.

Méthode (non appliquée) d'estimation de la variation de stock du bois mort

La méthode de variation de stock du bois mort, d'après les lignes directrices du Giec [672] peut être résumée par l'équation ci-après :

$$\Delta CFF_{DW} = [A \bullet (B_{t2} - B_{t1}) / T] \bullet CF$$

*Équation 27 (Forêts)
inspirée de l'équation 2.19 du GIEC 2006 [672]*

Avec :

ΔCFF_{DW} = Variation annuelle du stock de carbone dans le bois mort pour les forêts restant forêt, t C/an

A = Surface de forêt gérée restant forêt, ha

Bt1 = Stock de carbone dans le bois mort à l'instant t1 pour les forêts gérées restant forêt, t MS/ha

Bt2 = Stock de carbone dans le bois mort à l'instant t2 pour les forêts gérées restant forêt, t MS/ha

T = Période (t2 - t1), an

La méthode par variation de stock n'a pu encore être mise en place en raison de l'absence d'une série temporelle cohérente pour le suivi des stocks de carbone du bois mort. Cette information pourra sans doute être estimée à l'avenir grâce aux nouvelles données récoltées par l'inventaire forestier.

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.

Estimation de la variation de stock du bois mort en forêt restant forêt

²⁰ 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>.

²¹ 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.

²² Avitabile, V., & al. (2016) An integrated pan-tropical biomass map using multiple reference datasets. *Global Change Biology*, 22, 1406-1420

Le stock de bois mort évolue et une estimation peut être faite à partir des données de l'IGN sur les flux de mortalité (déjà mobilisées pour les flux en forêt) ou celles sur le stock (non mobilisées pour l'instant). La valeur de 10MtCO₂/an dans Roux, et al. (2016 [994]) paraît trop forte pour l'IGN. Une approche par variation de stock ou bien par flux avec un flux d'entrée (la mortalité) et des sorties définies par une durée de vie (10 ans a priori, comme pour l'étude Roux & Dhôte 2016) sont possibles. La deuxième approche est envisagée.

Litière

Comparaison avec une approche tier 1 du Giec

Les valeurs par défaut du Giec (2006 [672], vol 4. Chap. 2 table 2.2) sont de 28,2 tC/ha et 20,3 tC/ha respectivement pour feuillus et conifères, sous climat chaud tempéré humide ; et de 28,2 tC/ha et 20,3 tC/ha respectivement pour feuillus et conifères sous climat chaud tempéré sec. Les valeurs du Giec apparaissent donc surestimer ce stock par rapport aux données nationales.

Amélioration de la valeur de stock de litière

La valeur de 9 tC/ha pourrait être précisée, par exemple par région ou par type de forêt, ou simplement améliorée par une revue de littérature. Par exemple, d'après Pignard et al. (2000) [997] "[...] *the mean carbon stock in the forest litter, humus + soils between 0 and 0.4 m depth was estimated to 92 t C.ha⁻¹, litter and humus layers accounting for 9% [...]*", soit une valeur de: $92 \text{ tC/ha} * 9\% = 8,3 \text{ tC/ha} \approx 8 \text{ tC/ha}$.

6.5 Cultures (CRF 4B)

6.5.1 Caractéristiques de la catégorie

Les surfaces en cultures couvrent 18,2 millions d'hectares en France en 2020. Les émissions de CO₂ 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 CO₂ 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.

Figure 170 : Surfaces et Emissions / Absorptions en cultures

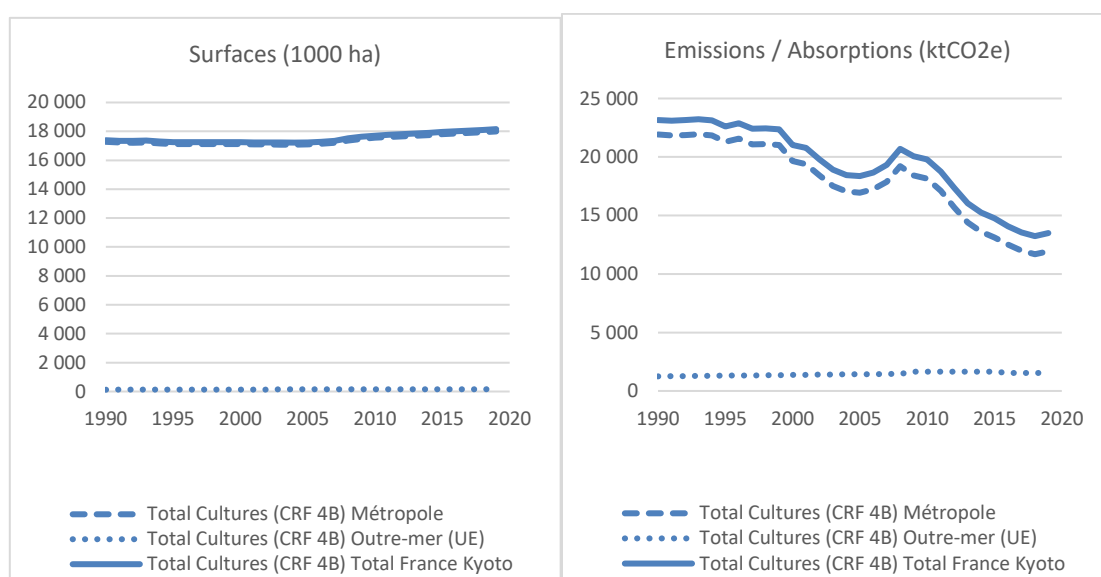


Tableau 187 : Surfaces en cultures (en milliers d'ha)

	Total Cultures (CRF 4B)			Surfaces (ha)			Terres devenant Cultures (CRF 4B2)		
	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto
1990	17 268	122	17 390	13 027	94	13 121	4 241	28	4 270
1991	17 231	124	17 355	12 974	94	13 067	4 257	30	4 287
1992	17 218	125	17 344	12 934	94	13 028	4 284	31	4 316
1993	17 231	127	17 358	12 909	94	13 002	4 322	33	4 356
1994	17 171	128	17 300	12 870	94	12 964	4 301	35	4 336
1995	17 127	130	17 256	12 866	94	12 959	4 261	36	4 297
1996	17 123	131	17 254	12 862	93	12 955	4 261	38	4 299
1997	17 121	133	17 254	12 881	93	12 974	4 240	40	4 280
1998	17 126	135	17 260	12 905	93	12 999	4 220	41	4 261
1999	17 121	136	17 257	12 970	93	13 064	4 151	43	4 194
2000	17 123	138	17 261	13 049	93	13 142	4 074	44	4 118
2001	17 100	139	17 240	13 101	93	13 195	3 999	46	4 045
2002	17 101	141	17 242	13 169	93	13 262	3 932	48	3 980
2003	17 082	142	17 224	13 236	93	13 329	3 846	49	3 895
2004	17 080	144	17 224	13 315	93	13 408	3 764	51	3 815
2005	17 097	146	17 243	13 329	93	13 422	3 768	52	3 821
2006	17 137	147	17 284	13 325	93	13 418	3 813	54	3 867
2007	17 203	149	17 352	13 310	93	13 403	3 893	56	3 949
2008	17 374	150	17 524	13 319	93	13 412	4 054	57	4 111
2009	17 477	151	17 628	13 370	94	13 463	4 107	57	4 164
2010	17 555	152	17 707	13 467	95	13 561	4 088	58	4 146
2011	17 603	153	17 756	13 601	96	13 696	4 002	58	4 060
2012	17 652	154	17 806	13 746	96	13 842	3 906	58	3 964
2013	17 700	155	17 856	13 903	97	14 000	3 798	58	3 856
2014	17 749	157	17 906	14 000	98	14 098	3 749	59	3 808
2015	17 798	158	17 956	14 079	99	14 177	3 720	59	3 778
2016	17 847	158	18 006	14 198	100	14 297	3 649	59	3 708
2017	17 896	159	18 056	14 296	101	14 397	3 600	59	3 659
2018	17 945	160	18 106	14 396	101	14 497	3 550	59	3 609
2019	17 995	161	18 156	14 446	102	14 548	3 549	59	3 608
2020	18 044	162	18 206	14 489	103	14 592	3 556	59	3 615

Tableau 188 : Emissions / Absorptions en cultures (en ktCO₂e)

	Emissions / Absorptions (ktCO ₂ e)								
	Total Cultures (CRF 4B)			Cultures restant Cultures (CRF 4B1)			Terres devenant Cultures (CRF 4B2)		
	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto
1990	21 911	1 246	23 158	254	5	259	21 657	1 242	22 899
1991	21 836	1 258	23 095	230	5	235	21 606	1 254	22 860
1992	21 878	1 270	23 148	263	5	268	21 614	1 266	22 880
1993	21 943	1 283	23 226	256	5	261	21 687	1 278	22 965
1994	21 833	1 295	23 128	233	5	238	21 600	1 290	22 889
1995	21 295	1 307	22 602	71	5	76	21 224	1 302	22 526
1996	21 574	1 319	22 893	-24	5	-19	21 598	1 314	22 912
1997	21 081	1 331	22 413	-114	5	-110	21 196	1 326	22 522
1998	21 102	1 343	22 445	-215	5	-210	21 317	1 339	22 656
1999	21 014	1 356	22 369	-376	5	-371	21 390	1 351	22 741
2000	19 663	1 368	21 031	-448	5	-443	20 111	1 363	21 474
2001	19 382	1 380	20 762	-875	5	-871	20 257	1 375	21 632
2002	18 409	1 392	19 801	-1 247	5	-1 242	19 656	1 387	21 043
2003	17 520	1 404	18 924	-1 712	5	-1 707	19 232	1 399	20 631
2004	17 041	1 416	18 457	-2 165	5	-2 160	19 206	1 411	20 618
2005	16 951	1 428	18 379	-2 639	5	-2 634	19 590	1 423	21 013
2006	17 237	1 440	18 678	-2 938	5	-2 933	20 175	1 435	21 611
2007	17 863	1 452	19 315	-3 035	5	-3 030	20 898	1 447	22 345
2008	19 221	1 464	20 685	-3 001	5	-2 996	22 222	1 459	23 682
2009	18 422	1 641	20 063	-3 169	5	-3 164	21 591	1 636	23 227
2010	18 142	1 642	19 785	-3 192	5	-3 187	21 335	1 638	22 972
2011	17 109	1 644	18 753	-3 245	5	-3 241	20 354	1 639	21 993
2012	15 697	1 646	17 343	-4 206	5	-4 201	19 903	1 641	21 545
2013	14 388	1 648	16 036	-4 999	5	-4 994	19 387	1 643	21 030
2014	13 602	1 650	15 251	-5 576	5	-5 571	19 178	1 645	20 823
2015	13 108	1 652	14 760	-5 954	5	-5 950	19 062	1 647	20 709
2016	12 512	1 547	14 059	-6 250	5	-6 245	18 762	1 542	20 304
2017	11 990	1 547	13 538	-6 574	5	-6 569	18 564	1 543	20 106
2018	11 686	1 548	13 234	-6 662	5	-6 657	18 348	1 543	19 891
2019	11 937	1 548	13 486	-6 461	5	-6 456	18 398	1 544	19 942
2020	11 707	1 549	13 256	-6 741	5	-6 737	18 449	1 544	19 993

6.5.2 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>

De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Aperçu

Emissions de CO₂

Emissions de CO₂ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les flux de CO₂ sont directement estimés à partir des flux de carbone observés entre les différents réservoirs de carbone des terres définis par le GIEC.

Emissions de CO₂ liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions directes et indirectes de CO₂ liées au drainage des sols organiques (histosols) cultivés sont estimées sur la base des surfaces d'histosols obtenues de manière spatialement explicite en utilisant plusieurs jeux de données cartographiques pertinents, que ce soit pour la métropole (*Peatland map of Europe* (Tanneberger et al., 2017, [1202]) qui se base sur la BDGSF l'Inra [719] pour la France ; carte de l'humidité des sols (couche *water and wetness*) des *High Resolution Layers* [1203]) et pour la Guyane [720] pour la Guyane) croisées avec des cartes d'occupation des sols [carte des îlots agricoles du Registre Parcellaire Graphique [1204] pour la métropole, *Corine Land Cover* pour la Guyane]. Les facteurs d'émission proviennent du Supplément 2013 du GIEC sur les Zones Humides

([923] chap.1 table 2.1) : 7,9 t CO₂/ha/an en Métropole et 14 t CO₂/ha/an pour la Guyane ; ainsi que et 0,1 t CO₂/ha/an dans les deux zones pour les émissions indirectes.

Emissions de CO₂ liées au brûlage

Les émissions de CO₂ 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 CH₄

Emissions de CH₄ liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions de CH₄ liées au drainage des sols organiques (histosols) cultivés sont estimées sur la base des surfaces d'histosols issues de cartes pédologiques ([719 ; 1202 ; 1203] pour la Métropole, [720] pour la Guyane) croisées avec des cartes d'occupation des sols [Corine Land Cover ; RPG [1204]]. Les facteurs d'émission proviennent du Supplément 2013 du GIEC sur les Zones Humides ([923] chap.1 table 2.3) : 0 t CO₂/ha/an en Métropole et en Guyane.

Emissions de CH₄ liées au brûlage

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 ou d'un défrichement est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond au solde une fois pris en compte la récolte et la part laissée en décomposition. Elle est en moyenne de 13%. 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 N₂O liées à la fertilisation des terres agricoles sont intégralement rapportées dans le secteur agriculture.

Emissions de N₂O liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions de N₂O liées au drainage des sols organiques (histosols) cultivés sont estimées et rapportées dans le secteur Agriculture.

Emissions de N₂O 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 entraîne une émission de N₂O 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 N₂O liées au brûlage

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 ou d'un défrichement est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond au solde une fois pris en compte la récolte et la part laissée en décomposition. Elle est en moyenne de 13%. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

6.5.2.1 Terres cultivées restant terres cultivées (4B1)

Biomasse vivante (terres cultivées restant terres cultivées)

Conformément aux lignes directrices du GIEC [672], seule la biomasse ligneuse est prise en compte. La biomasse non ligneuse provenant des cultures fait partie d'un cycle court qui présente un bilan neutre vis-à-vis du stockage de carbone : fréquemment stockage et déstockage de carbone ont lieu au cours de la même année. La biomasse considérée concerne en particulier les vignes, vergers et les arbres ou groupement d'arbres situés sur des parcelles agricoles et ne respectant pas les critères de définition de la forêt.

Terres avec changements entre sous-catégorie de terres cultivées

Les flux de biomasse sur les terres cultivées restant terres cultivées sont estimés sur la base des changements d'affectation entre les trois sous-catégories de terres cultivées (cultures annuelles, vignes et vergers) par méthode de variation de stock basée sur les changements sur 20 ans.

Équation 36 (cultures) (inspirée de l'équation 2.8 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta C = (C_0 - C_{(0-20)}) / 20$$

Avec :

ΔC = Variation de stock de biomasse, t C / an
 C_0 = Stock de carbone à l'instant 0, t C
 $C_{(0-20)}$ = Stock de carbone à l'instant 0-20, t C

Les stocks de carbone de la biomasse vivante ligneuse sont supposés nuls pour les cultures annuelles, ils sont estimés à 5 tC/ha (aérien et racinaire) pour les vignes et 16 tC/ha pour les vergers.

A titre d'exemple, la conversion d'un verger en culture annuelle génère une émission et inversement la conversion d'une culture annuelle en vigne génère un puits de carbone dans la biomasse vivante ligneuse.

Tableau 189 : Flux de CO2 liés aux changements entre catégories de cultures (cultures annuelles et pérennes), biomasse aérienne et racinaire, en métropole

	Cultures annuelles	Vergers	Vignes
Cultures annuelles	<i>Cf. section suivante</i>	+16,3tC / 20ans = -3tCO ₂ /an	+5,5tC / 20ans = -1tCO ₂ /an
Vergers	-16,3tC / 20ans = +3tCO ₂ /an	<i>Cf. section suivante</i>	-10,7tC / 20ans = +2tCO ₂ /an
Vignes	-5,5tC / 20ans = +1tCO ₂ /an	+10,7tC / 20ans = -2tCO ₂ /an	<i>Cf. section suivante</i>

Terres sans changement entre sous-catégorie de terres cultivées

Sur les terres de « vergers restant vergers » une analyse très pointue prenant en compte les âges des vergers, et simulant les plantations et arrachages depuis 1950 a montré que les surfaces de plantations et arrachages de vergers étaient du même ordre de grandeur que les surfaces de changement concernant les vergers détectés par Teruti. Par conséquent, sur les terres de vergers restant vergers aucun flux supplémentaire de CO₂ n'a été intégré. Les impacts calculés des plantations et arrachages sont déjà intégrés par variation de stock grâce aux changements détectés par Teruti.

Tableau 190 : Flux de CO2 liés pour les cultures (cultures annuelles et pérennes), biomasse aérienne et racinaire, en métropole et en outre-mer

	Cultures annuelles	Vergers	Vignes
Cultures annuelles	0 tCO ₂ /an	<i>Cf. section précédente</i>	<i>Cf. section précédente</i>
Vergers	<i>Cf. section précédente</i>	0 tCO ₂ /an	<i>Cf. section précédente</i>
Vignes	<i>Cf. section précédente</i>	<i>Cf. section précédente</i>	0 tCO ₂ /an

Bois mort (terres cultivées restant terres cultivées)

Le stock de bois mort est négligé sur l'ensemble des terres cultivées restant terres cultivées.

Litière (terres cultivées restant terres cultivées)

Le stock de litière est négligé sur l'ensemble des terres cultivées restant terres cultivées.

Matière organique du sol (terres cultivées restant terres cultivées) - sols minéraux

Les variations de stock de carbone de sols minéraux des terres cultivées en métropole sont estimées grâce à la méthode GIEC de niveau 1, grâce aux équations suivantes :

Équation 37 (cultures) (inspirée de l'équation 2.25 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta C_{\text{Minéraux}} = \text{COS}_0 - \text{COS}_{(0-20)} / 20$$

$$\text{COS} = \text{COS}_{\text{REF}} \times F_{\text{UT}} \times F_{\text{RG}} \times F_{\text{A}} \times \text{Surface}$$

Avec :

ΔC	=	Variation de stock de carbone du réservoir, tC/an
$\Delta C_{\text{Minéraux}}$	=	Variations annuelles des stocks de carbone des sols minéraux, tC / an
COS	=	Stock de carbone organique du sol l'année d'inventaire, tC
COS_{REF}	=	Stock de carbone de référence, tC/ha
F_{UT}	=	Facteur de variation de stock lié à l'utilisation des terres
F_{RG}	=	Facteur de variation de stock lié au régime de gestion (travail du sol principalement)
F_{A}	=	Facteur de variation de stock lié aux apports (organiques principalement)
Surface	=	Surface de la catégorie de terre concernée, ha

Les lignes directrices du GIEC [672] permettent ainsi d'estimer les flux de carbone des sols à partir de facteurs associés aux pratiques (utilisation du sol, travail du sol, type et quantité d'apport).

Choix du paramètre de stock de référence (COS_{REF})

Pour mettre en œuvre cette méthode il est nécessaire de catégoriser les terres selon ces différents paramètres. Cette catégorisation n'est pas possible à partir des seules matrices de changement d'utilisation des terres qui ne fournissent une information que sur le type d'occupation. D'autres sources de données, notamment les enquêtes pratiques culturelles, sont mobilisées pour répondre à ce besoin. Or ces données ne sont pas utilisables à des niveaux de résolution spatiale fine. Pour cette raison les calculs sont actuellement produits de manière globale au niveau de la France métropolitaine afin de bénéficier de données quantitatives sur l'évolution des pratiques. Le paramètre COS_{REF} choisi correspond à la médiane des stocks forestiers régionaux issus du RMQS [424] et utilisés dans l'inventaire : il est estimé à 73 tC/ha. Cette valeur impacte peu les estimations produites car ce sont les variations de stock qui sont visées dans les calculs.

La méthode détaillée sur l'estimation des stocks de carbone dans les sols se trouve en section UTCATF générale.

Catégorisation selon le facteur d'utilisation des terres (F_{UT})

La valeur proposée par le GIEC [672] pour le paramètre F_{UT} est de 0,69 pour les cultures de long terme. Dans l'inventaire français cette valeur du GIEC a été utilisée pour toutes les terres cultivées restant terres cultivées, quelle que soit la sous-catégorie (culture annuelle, vigne ou verger). Combinée avec le paramètre COS_{REF} , un stock de référence pour les cultures a été estimé pour la France métropolitaine à 50 tC/ha (73 tC/ha x 0,69).

Catégorisation selon le facteur lié au travail du sol (F_{RG})

Le travail du sol est un des paramètres les plus importants pour l'estimation des flux de carbone des sols en France. En effet le travail du sol influe fortement les stocks de carbone du sol selon le GIEC et les pratiques associées ont significativement évolué durant la période couverte par l'inventaire avec une forte diminution du labour au profit des techniques culturales simplifiées.

En termes de travail du sol, trois modalités ont été identifiées en lien avec les facteurs correcteurs

En termes de travail du sol, trois modalités ont été identifiées en lien avec les facteurs correcteurs proposés par le GIEC : le labour, les techniques culturales simplifiées (TCS) et le semis direct (Semis d.). La part des cultures concernée par chaque pratique est estimée à partir des enquêtes Pratiques culturales disponibles pour les années 1994, 2001, 2006, 2011 et 2017 [485]. Ces données concernent les cultures principales en France.

Tableau 191 : Répartition des surfaces de culture selon le travail du sol

		Blé tendre	Blé dur	Orge d'hiver	Orge de printemps	Autres céréales	Mais grain	Mais fourrage	Colza	Tournesol	Autres oléagineux	Pois	Autres protéagineux	Betterave	Pomme de terre	Autres cultures
1994	Labour	88%	63%	95%	95%	88%	98%	98%	82%	94%	82%	98%	98%	85%	89%	88%
	TCS	12%	37%	5%	5%	12%	2%	2%	18%	6%	18%	2%	2%	15%	11%	12%
	Semis d.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2001	Labour	74%	51%	85%	83%	74%	87%	92%	78%	92%	78%	91%	91%	85%	89%	74%
	TCS	26%	49%	15%	17%	26%	13%	8%	22%	8%	22%	9%	9%	15%	11%	26%
	Semis d.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2006	Labour	56%	42%	72%	72%	56%	84%	84%	53%	75%	53%	87%	87%	85%	92%	56%
	TCS	44%	55%	28%	28%	44%	16%	16%	47%	24%	47%	13%	13%	15%	8%	44%
	Semis d.	1%	3%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
2011	Labour	56%	42%	69%	69%	56%	82%	85%	49%	72%	49%	70%	70%	86%	86%	56%
	TCS	40%	54%	30%	30%	40%	18%	15%	51%	27%	51%	28%	28%	14%	14%	40%
	Semis d.	4%	4%	1%	1%	4%	0%	0%	0%	1%	0%	2%	2%	0%	0%	4%
2017	Labour	41%	35%	56%	56%	41%	71%	77%	33%	62%	33%	62%	62%	80%	78%	41%
	TCS	55%	61%	42%	42%	55%	28%	22%	64%	38%	64%	34%	34%	20%	22%	55%
	Semis d.	4%	4%	2%	2%	4%	1%	1%	3%	0%	3%	3%	3%	0%	0%	4%

Entre les années d'enquêtes les données sont extrapolées linéairement. Avant 1994 elles sont supposées équivalentes à l'année 1994 et après 2017 elles sont supposées équivalentes à 2017.

Les surfaces de cultures annuelles sont issues des statistiques agricoles annuelles, elles sont disponibles sur toute la période d'inventaire.

Les surfaces sont ensuite combinées aux facteurs d'ajustement adaptés. Le tableau ci-dessous récapitule les différents facteurs d'ajustement associés au travail du sol, utilisés dans l'inventaire :

Tableau 192 : Valeurs par défaut du GIEC associées au travail du sol

	Pratique (GIEC)	Facteur d'ajustement (GIEC)
Travail du sol (F_{RG})	Total (Labour)	1
	Réduit (TCS)	1.08
	Aucun (semis direct)	1.15

Catégorisation selon le facteur lié aux apports (F_A)

Les apports (intrants) sont un paramètre clé dans l'estimation des variations du carbone du sol. Il s'agit en premier lieu des apports organiques mais les engrais minéraux peuvent également être intégrés car la fertilisation permet d'augmenter la production de biomasse et donc potentiellement les retours de carbone au sol.

Le GIEC propose de caractériser le niveau d'apport selon quatre modalités qualitatives : apports faibles, apports moyens, apports élevés sans fumier, apports élevés avec fumier. Pour caractériser

les surfaces de culture selon cet axe, trois paramètres ont pu être exploités au niveau français : le taux de retour des résidus de culture au sol, l'apport de fumure organique et la présence d'une culture intermédiaire durant l'interculture.

Le taux de retour des résidus au sol a pu être pris en compte grâce aux enquêtes 2001, 2006 et 2011. Le devenir des résidus de la culture précédente étant connu (résidus récoltés, brûlés, laissé sur place), des valeurs pour les années 2000, 2005 et 2010 ont pu être estimées.

De même de informations qualitatives sur les surfaces ayant reçu des amendements organiques ou ayant mis en place des cultures intermédiaires ont pu être intégrées dans la catégorisation des terres selon la classification GIEC. Les terres ont été classées selon le protocole d'allocation suivant :

Tableau 193 : Protocole d'allocation entre les catégories GIEC

Résidus laissés au champ ?	Culture intermédiaire ?	Fumure organique ?	Apports			
			A. faibles	A. moyens	A. élevés	A. élevés + Fumier
OUI	OUI	OUI				X
		NON			X	
	NON	OUI		X		
		NON		X		
NON	OUI	OUI		X		
		NON	X			
	NON	OUI	X			
		NON	X			

Grâce à ce protocole d'allocation les terres ont pu être réparties selon les catégories GIEC de la manière suivante :

Tableau 194 : Répartition des surfaces de culture selon le niveau d'apport

		Blé tendre	Blé dur	Orge d'hiver	Orge de printemps	Autres céréales	Mais grain	Mais fourrage	Colza	Tournesol	Autres oléagineux	Pois	Autres protéagineux	Betterave	Pomme de terre	Autres cultures
2000	A. faibles	56%	35%	76%	50%	56%	1%	5%	3%	1%	3%	15%	15%	2%	6%	56%
	A. moyens	44%	64%	24%	48%	44%	81%	82%	97%	96%	97%	67%	67%	50%	61%	44%
	A. élevés	0%	1%	0%	2%	0%	12%	2%	0%	3%	0%	18%	18%	24%	17%	0%
	A. élevés+	0%	0%	0%	0%	0%	5%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	24%	15%	0%
2005	A. faibles	38%	23%	43%	39%	38%	0%	5%	3%	2%	3%	9%	9%	2%	9%	38%
	A. moyens	62%	76%	57%	59%	62%	82%	82%	97%	95%	97%	72%	72%	50%	60%	62%
	A. élevés	0%	1%	0%	2%	0%	12%	2%	0%	3%	0%	19%	19%	24%	16%	0%
	A. élevés+	0%	0%	0%	0%	0%	6%	11%	0%	0%	0%	1%	1%	24%	14%	0%
2010	A. faibles	50%	34%	50%	50%	50%	0%	5%	3%	2%	3%	8%	8%	2%	11%	50%
	A. moyens	50%	66%	46%	46%	50%	80%	74%	97%	82%	97%	58%	58%	25%	37%	50%
	A. élevés	0%	0%	4%	4%	0%	13%	4%	0%	14%	0%	31%	31%	32%	33%	0%
	A. élevés+	0%	0%	1%	1%	0%	7%	17%	0%	3%	0%	3%	3%	41%	18%	0%
2017	A. faibles	50%	52%	46%	46%	50%	2%	4%	6%	2%	6%	7%	7%	3%	0%	50%
	A. moyens	49%	48%	47%	47%	49%	54%	46%	94%	47%	94%	51%	51%	11%	17%	49%
	A. élevés	1%	0%	6%	6%	1%	30%	8%	0%	46%	0%	39%	39%	39%	54%	1%
	A. élevés+	0%	0%	1%	1%	0%	15%	42%	0%	5%	0%	3%	3%	47%	29%	0%

Entre les années d'enquêtes les données sont extrapolées linéairement. Avant 2000 elles sont supposées équivalentes à l'année 2000 et après 2017 elles sont supposées équivalentes à 2017.

Les surfaces de cultures annuelles sont issues des statistiques agricoles annuelles, elles sont disponibles sur toute la période d'inventaire.

Les surfaces sont ensuite combinées aux facteurs d'ajustement adaptés. Le tableau ci-dessous récapitule les différents facteurs d'ajustement associés au travail du sol, utilisés dans l'inventaire.

Tableau 195 : Valeurs par défaut du GIEC associées aux apports

Apports (F _A)	Pratique (GIEC)		Facteur d'ajustement (GIEC)	
	Faibles		0.92	
	Moyens		1	
	Elevés sans fumier		1.11	
	Elevés avec fumier		1.44	

En Outre-mer, faute de données sur les changements de pratiques, aucune variation de stocks de carbone des sols minéraux en cultures restant cultures n'est estimée.

Emissions de N₂O associées

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, 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 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 N₂O 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 connues à partir de cartes pédologiques pour la métropole [719] et, en Outre-Mer, pour la Guyane [720]. Ces cartes sont croisées avec des cartes d'occupation du sol pour connaître la part de ces sols organiques qui sont cultivés. A ces surfaces sont appliquées des facteurs d'émissions provenant du Supplément du GIEC sur les Zones Humides [923] (voir plus bas).

6.5.2.2 Terres devenant terres cultivées (4B2)

Biomasse vivante (terres devenant terres cultivées)

Comme pour les terres cultivées restant terres cultivées les flux de biomasse sont estimés sur la base des surfaces de changement et par méthode de variation de stock. Pour tous les changements, les flux sont estimés sur une période de 20 ans sauf pour les défrichements (forêts devenant terres cultivées) pour lesquels on utilise une période de 1 an.

Les stocks de carbone de la biomasse vivante ligneuse sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 196 : Stocks de référence pour la biomasse (aérienne et racinaire) des sous-catégories de Cultures

Catégorie Giec	Sous-catégorie nationale	Stock de référence national (biomasse) en tC/ha	Référence	Valeur par défaut du Giec (non utilisée)
Cultures [Cropland]	Cultures annuelles	0	[hypothèse]*	4,7-5 *
	Vergers	16**	[493]	63***
	Vignes	5**	[493]	63***

* par définition, les cultures annuelles ne contiennent pas de végétation autres que la strate herbacée. Le stock de carbone sur cette strate est comptabilisé comme nul. La valeur du Giec (2006, vol 4. Chap 6, p.6.27) [672] donnant 4,7tC /ha - ou la valeur du Giec (2006, vol 5. Table 5.9) donnant 5 tC/ha n'est pas utilisée faute de donnée sur sa pertinence pour la France. L'une des principales raisons est que seule la biomasse ligneuse est estimée dans l'inventaire à l'heure actuelle (même si le tableau 1.1 du GIEC définit la biomasse comme incluant d'autres parties). Il a été choisi de se concentrer sur la biomasse qui peut être mesurée et estimée sans trop d'hypothèses. Une autre raison est que 10 tms/ha semble élevé pour être utilisé comme stock moyen de carbone de biomasse pour la majorité des cultures annuelles ou des prairies herbacées en France. Le raffinement 2019 du Giec reprend des valeurs similaires avec 4,7 tC/ha pour les cultures annuelles mais cette alternative n'est pas satisfaisante dans la mesure où elle ne prend pas en compte un stock moyen de carbone sur les terres. La biomasse non ligneuse est, de manière cohérente, négligée à la fois dans les forêts et dans les autres utilisations des terres.** Pour les cultures pérennes et ligneuses (vergers, vignes), une étude de 2009 commandée par l'Ademe et réalisée par l'IFN, le FCBA et Solagro [493] fournit les données suivantes : « en verger semi intensif (1 000 à 1 500 arbres/ha), le plus répandu en France, le

poids unitaire de la partie aérienne est d'environ 45 kg de bois frais en fin de cycle, soit une quantité de bois évaluée à 25 tMS/ha ». [493, p. 61]. « Nous retiendrons la valeur de 2 kg de bois par cep à 15% d'humidité [soit 85% de MS] (...) Nous avons retenu la densité moyenne de 5 000 ceps/ha » [493, p. 60]. Ces valeurs sont converties en tC/ha : Vergers : 25 tMS aérienne /ha * 0,5tC/tMS = 12,5 tC aérien /ha = 16 tC/ha de biomasse totale et vignes : 5000 ceps * 2kg/cep * 85% MS * 0.5tC/tMS = 4,3 tC aérien /ha = 5 tC/ha de biomasse totale.

A noter qu'à notre connaissance, des valeurs de densité du bois des cultures pérennes en tMS/m³, représentatives pour la France entière, ne sont pas disponibles.

*** La valeur du Giec 2006, vol 5. Table 5.9) donnant 63 tC/ha pour les cultures pérennes en zone tempérée est jugé moins pertinent que les valeurs issues de données nationales.

La série temporelle des flux de CO₂ liées aux conversions de terres par sous-catégorie de culture pérenne est disponible par région et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Bois mort (terres devenant terres cultivées)

Aucun flux de carbone n'est considéré sur le réservoir bois mort sauf s'il s'agit d'un défrichement, ce dernier génère alors une perte brusque du stock de bois mort.

Litière (terres devenant terres cultivées)

Aucun flux de carbone n'est considéré sur le réservoir litière sauf s'il s'agit d'un défrichement, ce dernier génère alors une perte brusque du stock de litière.

Matière organique du sol (terres devenant terres cultivées)

Le passage en usage culture d'une terre s'accompagne de flux au niveau du réservoir sol estimé à partir du stock de carbone initial et du stock de carbone final par méthode de variation de stock. Il peut s'agir, selon les cas, d'une émission ou d'une absorption de carbone. La méthode de calcul des flux sur les sols lors des changements d'utilisation des terres est décrite plus en détail dans la partie générique.

S'il s'agit d'une perte de carbone, elle s'accompagne également d'une perte de l'azote contenu dans le sol sous forme de N₂O (Guide UTCF [672]). Cette émission de N₂O 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 N₂O.

La série temporelle des flux de CO₂ 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 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).

Depuis l'édition d'inventaire 2016, l'incertitude des émissions de CO₂ 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 CH₄ et de N₂O 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. Par exemple, Le stock de biomasse non ligneuse en culture est estimé à zéro. Néanmoins, le Giec fournit des valeurs par défaut (Giec, 2006, vol 4. Chap 5, Table 5.9, chap 6 Table 6.4). Il n'est actuellement pas prévu d'améliorer ce point.

6.5.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRF 4B

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	25 187	24 605	23 102	20 568	20 845	21 451	22 752	22 109	21 841	20 845	19 478	18 219	17 455	16 976	16 410	15 910	15 630	15 881	0
Nouveau	kt CO ₂ e	22 820	22 259	20 700	18 070	18 365	18 995	20 353	19 726	19 450	18 425	17 023	15 725	14 944	14 454	13 759	13 241	12 942	13 193	12 963
Différence	kt CO ₂ e	-2 367	-2 346	-2 402	-2 497	-2 481	-2 455	-2 399	-2 383	-2 392	-2 421	-2 455	-2 494	-2 511	-2 522	-2 651	-2 669	-2 688	-2 688	+12 963
	%	-9%	-10%	-10%	-12%	-12%	-11%	-11%	-11%	-11%	-12%	-13%	-14%	-14%	-15%	-16%	-17%	-17%	-17%	-

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

Description des recalculs

- Les superficies d'histosols cultivés ont été recalculées et revues à la baisse, pour les sous-catégories prairies et cultures. Les émissions associées sont donc fortement revues à la baisse.
- Les surfaces de déforestation en Guyane après 2015 ont été recalculées, ce qui impacte légèrement les résultats des terres devenant cultures à partir de 2016.

Raisons et justifications des recalculs

- L'estimation des superficies d'histosols cultivés a été complètement revue pour intégrer une approche cartographique, de manière à être compatible avec l'approche spatialement explicite du suivi des surfaces d'utilisation des terres en cours de mise en œuvre.
- Des données satellites ont été prises en compte pour mieux estimer la déforestation en Guyane pour les années récentes.

6.5.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
LULUCF	4.B.2 Land converted to cropland - CO2 (L.18, 2019) (L.19, 2017) (L.18, 2016) (L.18, 2015) (102, 2014) (98, 2013) Completeness	Apply at least a tier 1 method from the IPCC good practice guidance for LULUCF to estimate the net CO2 emissions and removals from land converted to perennial crops.	The Party reported that this has not been implemented.	2021 Review PMF* / L.10	not resolved yet
LULUCF	4.B.1 Cropland remaining cropland - CO2 (L.35, 2019) Accuracy	Distinguish between perennial and annual crops in the area data for its overseas territories, using, in the absence of country-specific information, default carbon stock change factors from tables 5.1-5.3 of the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4).	The Party has not addressed this in the current submission. During the review, the Party clarified that this has not been implemented since perennial and annual crops are not distinguished in overseas territories data. However, there is a plan to prepare in the next years the implementation of a new spatially explicit approach to monitor land-use change with a distinction for cropland between annual and perennial cropland (and with a distinction between vineyards and other perennial crops). This approach currently tested over mainland of France, is also going to be applied to overseas territories, especially for fruit trees. The first related submission including this spatially explicit approach will be reported in 2023.	2021 Review PMF* / L.22	To be improved / implemented with the LULUCF spatially explicit approach starting with the 2023 submission.

LULUCF	4.B.2 Land converted to cropland - CO2 (L.37, 2019) Comparability	Include the net losses due to the conversion from forest land to cropland in CRF table 4.B under losses, and use the key notation "IE" for gains in the carbon stock change for living biomass per area to indicate that the gains are inherently part of the losses.	The Party did not report in its NIR on changes regarding this issue. The Party clarified that this has not been done yet.	2021 Review PMF* / L.24	not resolved yet
--------	---	---	--	-------------------------	------------------

6.5.7 Améliorations envisagées

Sols

Le chantier le plus important pour les terres cultivées concerne les sols. Actuellement les flux de carbone sur les sols agricoles sont estimés grâce une méthode de niveau 1 du Giec. L'estimation de l'évolution des stocks de carbone du sol en cultures et prairie est un enjeu majeur dans le cadre de la décision EU/529/2013 et de l'initiative 4 pour 1000. Plusieurs projets sont à l'étude pour mieux appréhender la dynamique de carbone des sols en France (Etude C-SOPRA [962]²³, Etude 4 pour 1000 [963]) : il est possible que ces travaux permettent d'élaborer des méthodes plus complexes et plus précises pour estimer le carbone des sols cultivés.

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. Notre approche mobilise à la fois une base de données de suivis long terme la base AIAL et et la base de données d'un réseau de surveillance des sols, le Réseau de Mesure de la qualité des sols (RMQS). Nous avons, dans ce cadre, évalué les modèles Century, RothC, AMG et ORCHIDE et les avons comparés à l'approche Tier 1. Nous avons 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 nat-

-ional 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. Nous soulignons 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.

Deux pistes d'amélioration sont identifiées :

- dans le cadre du passage à un système de suivi de l'utilisation des terres spatialement explicite, la variation de stock de carbone dans les sols peut être calculée de manière continue, maille par maille, année après année. Cette approche permet de suivre au cours du temps l'évolution du stock par unité spatiale, en prenant en compte les effets d'héritage (conversions d'usage passées) et les effets des changements de pratiques agricoles. Cette approche pourrait aussi être améliorée sur la base de travaux de modélisation nationaux ou sur la base de l'approche *Steady State* du Giec.

²³ 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.

- 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, et de tester une approche par variation de stock. 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.

Au-delà de ces études qui permettront de mieux connaître les facteurs d'émissions ou de déstockage des sols agricoles, l'absence de données d'activité fines, dans le temps et l'espace, sur l'évolution des pratiques reste un frein à l'élaboration d'une approche de niveau 2 robuste.

Biomasse

Des pistes de progrès ont également été identifiées pour la biomasse ligneuse agricole (vergers, vignes, haies). En particulier, pour l'ensemble des cultures pérennes (vignes, vergers), uniquement pour les régions méditerranéennes (Provence Alpes-Côte-d'Azur, Languedoc-Roussillon, Corse) il est possible d'utiliser les valeurs issues du projet européen « Medinet » (Projet LIFE n° 15 PRE IT/732295) (Canaveira, et al. 2018 [993]). Pour les vignes, il est possible de varier la valeur de stock de biomasse 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 5000 pieds/ha pour les autres régions, d'après [493 p.60]. Des travaux ont été menés en ce sens en 2020, ils ont mené à la conclusion que la mise à jour des valeurs avec les valeurs « Medinet » ne modifiait pas énormément les résultats et qu'il était plus simple de conserver encore en l'état les références actuellement utilisées. Les éventuels changements sur les vergers à mettre en place dans l'inventaire français seront à penser en cohérence avec le futur suivi des terres spatialement explicite.

Concernant la biomasse en général, l'approche spatialement explicite pour le suivi de l'utilisation des terres devrait aussi permettre un suivi plus fin des stocks de biomasse en cultures (biomasse ligneuse des arbres en arboriculture, agroforesterie, des arbres épars et des haies ; biomasse non ligneuse).

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.

6.6 Prairies (CRF 4C)

6.6.1 Caractéristiques de la catégorie

Les surfaces en prairies couvrent 13,9 millions d'hectares en France en 2020. 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 171 : Surfaces et Emissions / Absorptions en prairies

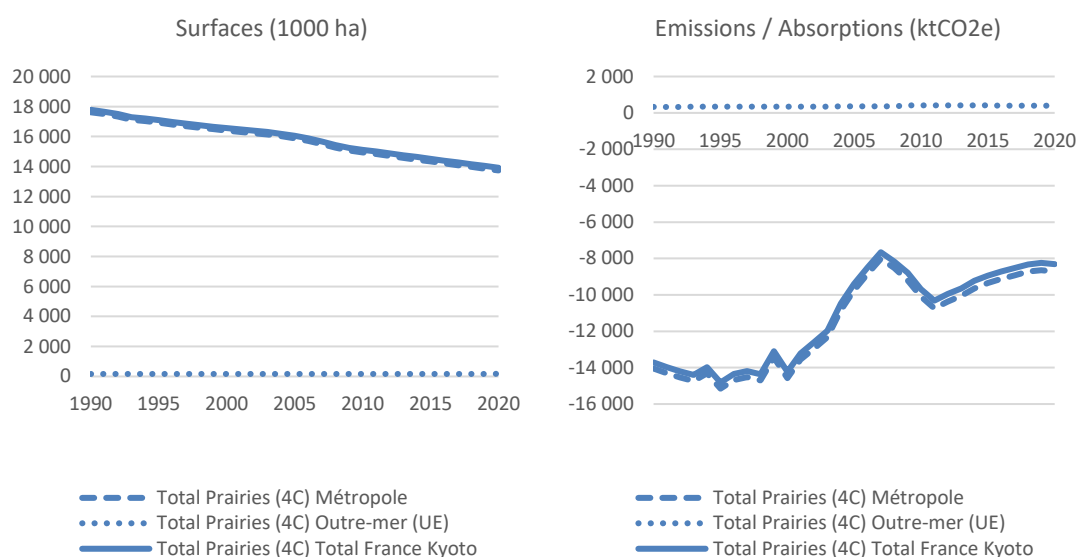


Tableau 197 : Surfaces en prairies (en milliers d'ha)

	Surfaces (ha)								
	Total Prairies (4C)			Prairies restant Prairies (4C1)			Terres devenant Prairies (4C2)		
	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto
1990	17 614	165	17 778	13 023	127	13 149	4 591	38	4 629
1991	17 489	165	17 654	12 858	127	12 985	4 631	39	4 669
1992	17 325	165	17 491	12 668	127	12 794	4 657	39	4 696
1993	17 125	166	17 291	12 454	127	12 580	4 672	39	4 711
1994	17 025	166	17 191	12 326	127	12 453	4 699	39	4 738
1995	16 930	166	17 097	12 240	127	12 367	4 690	40	4 730
1996	16 805	166	16 971	12 127	127	12 254	4 677	40	4 717
1997	16 692	167	16 858	12 048	127	12 175	4 644	40	4 684
1998	16 575	167	16 742	11 975	126	12 101	4 601	40	4 641
1999	16 488	167	16 655	11 946	126	12 072	4 542	41	4 583
2000	16 399	167	16 566	11 945	126	12 071	4 454	41	4 495
2001	16 311	168	16 479	11 927	126	12 053	4 384	41	4 426
2002	16 217	168	16 385	11 911	126	12 037	4 306	41	4 347
2003	16 131	168	16 299	11 902	126	12 028	4 229	42	4 270
2004	16 017	168	16 185	11 927	126	12 053	4 091	42	4 132
2005	15 875	169	16 044	11 846	126	11 973	4 029	42	4 071
2006	15 705	169	15 873	11 720	126	11 846	3 985	42	4 027
2007	15 503	169	15 672	11 535	126	11 662	3 968	43	4 010
2008	15 251	169	15 420	11 386	126	11 513	3 864	43	3 907
2009	15 074	170	15 245	11 332	127	11 459	3 742	43	3 786
2010	14 944	171	15 115	11 342	127	11 469	3 602	44	3 646
2011	14 821	171	14 993	11 378	127	11 505	3 443	45	3 488
2012	14 699	172	14 871	11 402	127	11 529	3 297	45	3 342
2013	14 577	173	14 750	11 413	127	11 540	3 164	46	3 210
2014	14 456	174	14 629	11 438	127	11 566	3 017	46	3 064
2015	14 335	174	14 509	11 428	128	11 555	2 907	47	2 954
2016	14 214	175	14 389	11 414	128	11 542	2 800	47	2 848
2017	14 094	176	14 270	11 380	128	11 508	2 714	48	2 762
2018	13 975	176	14 151	11 337	128	11 465	2 638	48	2 686
2019	13 855	177	14 032	11 279	128	11 407	2 577	49	2 625
2020	13 736	178	13 914	11 192	128	11 320	2 545	49	2 594

Tableau 198 : Emissions / Absorptions en prairies (en kt CO₂e)

	Emissions / Absorptions (ktCO ₂ e)								
	Total Prairies (4C)			Prairies restant Prairies (4C1)			Terres devenant Prairies (4C2)		
	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto
1990	-14 049	331	-13 718	626	9	634	-14 675	322	-14 353
1991	-14 312	332	-13 980	679	9	688	-14 992	323	-14 668
1992	-14 538	334	-14 204	726	9	735	-15 264	325	-14 939
1993	-14 727	335	-14 391	765	9	773	-15 491	327	-15 165
1994	-14 307	337	-13 970	767	9	775	-15 074	328	-14 745
1995	-15 153	339	-14 814	778	9	787	-15 931	330	-15 601
1996	-14 684	340	-14 343	833	9	842	-15 517	331	-15 185
1997	-14 530	342	-14 188	884	9	892	-15 414	333	-15 081
1998	-14 703	344	-14 360	917	9	926	-15 621	335	-15 286
1999	-13 450	345	-13 105	961	9	970	-14 411	336	-14 075
2000	-14 575	347	-14 228	1 035	9	1 044	-15 611	338	-15 273
2001	-13 562	348	-13 213	1 070	9	1 079	-14 632	340	-14 293
2002	-12 948	350	-12 598	1 111	9	1 120	-14 059	341	-13 718
2003	-12 320	352	-11 968	1 163	9	1 172	-13 483	343	-13 140
2004	-10 838	353	-10 485	1 122	9	1 131	-11 960	344	-11 616
2005	-9 762	355	-9 408	1 078	9	1 087	-10 840	346	-10 494
2006	-8 855	356	-8 498	1 029	9	1 038	-9 884	347	-9 537
2007	-8 016	358	-7 658	1 026	9	1 035	-9 041	349	-8 692
2008	-8 528	359	-8 169	856	9	865	-9 384	351	-9 033
2009	-9 202	413	-8 790	755	9	764	-9 957	404	-9 553
2010	-10 096	413	-9 683	706	9	715	-10 802	405	-10 398
2011	-10 738	414	-10 324	596	9	605	-11 334	405	-10 929
2012	-10 367	414	-9 952	410	9	419	-10 777	406	-10 372
2013	-10 056	415	-9 641	215	9	224	-10 271	406	-9 865
2014	-9 642	415	-9 227	51	9	60	-9 693	407	-9 287
2015	-9 358	416	-8 942	-125	9	-116	-9 232	407	-8 825
2016	-9 113	399	-8 714	-334	9	-325	-8 779	391	-8 389
2017	-8 925	400	-8 525	-532	9	-523	-8 393	391	-8 002
2018	-8 723	400	-8 323	-648	9	-639	-8 075	391	-7 684
2019	-8 647	400	-8 247	-778	9	-770	-7 869	392	-7 478
2020	-8 711	401	-8 310	-945	9	-936	-7 766	392	-7 374

6.6.2 Méthode d'estimation des émissions

Emissions de CO₂

Emissions de CO₂ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les flux de CO₂ sont directement estimés à partir des flux de carbone observés entre les différents réservoirs de carbone des terres définis par le GIEC.

Emissions de CO₂ liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions directes et indirectes de CO₂ liées au drainage des sols organiques (histosols) en prairie sont estimées sur la base des surfaces d'histosols obtenues de manière spatialement explicite en utilisant plusieurs jeux de données cartographiques pertinents, que ce soit pour la métropole (*Peatland map of Europe* (Tanneberger et al., 2017, [1202]) qui se base sur la BDGSF l'Inra [719] pour la France ; carte de l'humidité des sols (couche *water and wetness*) des *High Resolution Layers* [1203]) et pour la Guyane [720] pour la Guyane) croisées avec des cartes d'occupation des sols [carte des îlots agricoles du Registre Parcellaire Graphique [1204] pour la métropole, *Corine Land Cover* pour la Guyane]. Les facteurs d'émission proviennent du Supplément 2013 du GIEC sur les Zones Humides ([923] chap.1 table 2.1) : 3,6 tCO₂/ha/an en Métropole et 9,6 t CO₂/ha/an pour la Guyane ; ainsi que et 0,1 tCO₂/ha/an dans les deux zones pour les émissions indirectes.

Emissions de CO₂ liées au brûlage

Les émissions de CO₂ 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 CH₄Emissions de CH₄ liées au drainage ou à la remise en eau

Les émissions de CH₄ liées au drainage ou à la remise en eau de prairies sont actuellement négligées dans l'inventaire français.

Emissions de CH₄ liées au brûlage

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 ou d'un défrichement est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond au solde une fois pris en compte la récolte et la part laissée en décomposition. Elle est en moyenne de 13%. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

Emissions de N₂OEmissions de N₂O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Les émissions de N₂O liées à la fertilisation des terres agricoles sont intégralement rapportées dans le secteur agriculture.

Emissions de N₂O 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 N₂O liées à la minéralisation des sols

Des émissions de N₂O liées à la minéralisation des sols, lors d'une perte de carbone, sont estimées.

Emissions de N₂O liées au brûlage

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 ou d'un défrichement est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond au solde une fois pris en compte la récolte et la part laissée en décomposition. Elle est en moyenne de 13%. 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/omineia>

De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

6.6.2.1 Prairies restant prairies (4C1)**Biomasse vivante (prairies restant prairies)**

Conformément aux lignes directrices du GIEC [672], seule la biomasse ligneuse est prise en compte. La biomasse non ligneuse provenant des cultures fait partie d'un cycle court qui présente un bilan neutre vis-à-vis du stockage de carbone : fréquemment stockage et déstockage de carbone ont lieu

au cours de la même année. La biomasse considérée concerne en particulier les bosquets, haies et la végétation arbustive sur des parcelles ne respectant pas les critères de définition de la forêt.

Terres avec changements entre sous-catégorie de prairies

Les flux de biomasse sur les prairies restant prairies sont estimés sur la base des changements d'affectation entre les quatre sous-catégories de prairies (prairies en herbe, prairies arbustives, haies et bosquets) par méthode de variation de stock basée sur les changements sur 20 ans.

$$\text{Équation 38 (prairies) (inspirée de l'équation 2.8 du GIEC 2006 [672])}$$

$$\Delta C = (C_0 - C_{(0-20)}) / 20$$

Avec :

ΔC = Variation de stock de biomasse, t C / an
 C_0 = Stock de carbone à l'instant 0, t C
 $C_{(0-20)}$ = Stock de carbone à l'instant 0-20, t C

Les stocks de carbone de la biomasse vivante ligneuse sont supposés nuls pour les prairies en herbe, ils sont estimés à 7 tC/ha (aérien et racinaire) pour les prairies arbustives et identiques à la forêt pour les surfaces de haies et de bosquet.

A titre d'exemple, la conversion d'un bosquet en prairie arbustive génère une émission et inversement la conversion d'une prairie en herbe en haie génère un puits de carbone dans la biomasse vivante ligneuse.

Tableau 199 : Flux de CO₂ liés aux changements entre catégories de prairies, biomasse aérienne et racinaire, en métropole

	Prairies en herbe	Bosquet	Haies	Prairies arbustives
Prairies en herbe	<i>Cf. section suivante</i>	+58tC / 20ans = - 11tCO ₂ /an	+58tC / 20ans = - 11tCO ₂ /an	+7tC / 20ans = - 1,2tCO ₂ /an
Bosquets	-58tC / 20ans = 11tCO ₂ /an	<i>Cf. section suivante</i>	-10,7tC / 20ans = +2tCO ₂ /an	-51tC / 20ans = +9,4tCO ₂ /an
Haies	-58tC / 20ans = +11tCO ₂ /an	+10,7tC / 20ans = - 2tCO ₂ /an	<i>Cf. section suivante</i>	-51tC / 20ans = +9,4tCO ₂ /an
Prairies arbustives	-7tC / 20ans = +1,2tCO ₂ /an	+51tC / 20ans = - 9,4tCO ₂ /an	+51tC / 20ans = - 9,4tCO ₂ /an	<i>Cf. section suivante</i>

Terres sans changement entre sous-catégorie de prairies

Sur les « bosquets restant bosquets » ou « haies restant haies » ou « prairie arbustive restant prairie arbustive », la méthode par variation de stock n'est pas mise en place car il n'existe pas de données suffisamment précises pour suivre les stocks de ces surfaces dans le temps.

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.

Tableau 200 : Flux de CO₂ liés pour les prairies, biomasse aérienne et racinaire, métropole et Outre-mer

	Prairies en herbe	Bosquet	Haies	Prairies arbustives
Prairies en herbe	0 tCO ₂ /an	<i>Cf. section précédente</i>	<i>Cf. section précédente</i>	<i>Cf. section précédente</i>
Bosquets	<i>Cf. section précédente</i>	0 tCO ₂ /an	<i>Cf. section précédente</i>	<i>Cf. section précédente</i>
Haies	<i>Cf. section précédente</i>	<i>Cf. section précédente</i>	0 tCO ₂ /an	<i>Cf. section précédente</i>
Prairies arbustives	<i>Cf. section précédente</i>	<i>Cf. section précédente</i>	<i>Cf. section précédente</i>	0 tCO ₂ /an

Bois mort (prairies restant prairies)

Le stock de bois mort est négligé sur l'ensemble des prairies restant prairies.

Litière (prairies restant prairies)

Le stock de litière est négligé sur l'ensemble des prairies restant prairies.

Matière organique du sol (prairies restant prairies) - sols minéraux

Comme pour les terres cultivées, les flux de carbone des sols minéraux en métropole sont estimés grâce aux équations suivantes :

Équation 39 (prairies) (inspirée de l'équation 2.25 du GIEC 2006 [672])

$$\Delta C_{\text{Minéraux}} = \text{COS}_0 - \text{COS}_{(0-20)} / 20$$

$$\text{COS} = \text{COS}_{\text{REF}} \times F_{\text{UT}} \times (F_{\text{RG}} \times F_{\text{A}}) \times \text{Surface}$$

Avec :

ΔC	=	Variation de stock de carbone du réservoir, t C/an
$\Delta C_{\text{Minéraux}}$	=	Variations annuelles des stocks de carbone des sols minéraux, tC / an
COS	=	Stock de carbone organique du sol l'année d'inventaire, tC
COS_{REF}	=	Stock de carbone de référence, tC/ha
F_{UT}	=	Facteur de variation de stock lié à l'utilisation des terres
$(F_{\text{RG}} \times F_{\text{A}})$	=	Facteur de variation de stock lié au régime de gestion et aux apports
Surface	=	Surface de la catégorie de terre concernée, ha

Les lignes directrices du GIEC [672] permettent ainsi d'estimer les flux de carbone des sols à partir de facteurs associés aux pratiques (utilisation du sol, travail du sol, type et quantité d'apport).

Choix du paramètre de stock de référence (COS_{REF})

Comme pour les terres cultivées, le paramètre COS_{REF} choisi correspond à la médiane des stocks forestiers régionaux issus du RMQS [424] et utilisés dans l'inventaire, il est estimé à 73 tC/ha. Cette valeur impacte peu les estimations produites car ce sont les variations de stock qui sont visées dans les calculs.

Catégorisation selon le facteur d'utilisation des terres (F_{UT})

La valeur proposée par le GIEC [672] pour le paramètre F_{UT} est de 1 pour les prairies. Dans l'inventaire français cette valeur du GIEC a été utilisée pour toutes les prairies restant prairies, quel que soit la sous-catégorie (prairies en herbe, prairies arbustives, haies et bosquets). Combinée avec le paramètre COS_{REF} , un stock de référence pour les prairies a été estimé pour la France métropolitaine à 73 tC/ha ($73 \text{ tC/ha} \times 1$).

Catégorisation selon le facteur lié à la gestion et aux apports ($F_{\text{RG}} \times F_{\text{A}}$)

Pour les prairies, il n'est pas facile de distinguer la gestion et les apports ils sont donc traités conjointement.

En termes de gestion, cinq modalités graduelles ont été définies par le GIEC : prairie fortement dégradées, prairies moyennement dégradées, prairies gérées nominalement, prairies améliorées, prairie améliorée avec apports de gestion supplémentaires. Ces catégories ne recoupent pas de classification connue des prairies, il est donc difficile de catégoriser les prairies françaises selon ces définitions.

Les enquêtes pratiques culturelles présentes en France proposent des résultats relatifs aux prairies pour les années 1990, 1998, 2006, 2011 et 2017 [485] permettant d'identifier des pratiques ayant

changé sur cette période. Dans l'inventaire actuel, seules les fertilisations minérale et organique ont été identifiées comme paramètres permettant de classer les prairies selon la catégorisation GIEC et de témoigner des changements de pratique. Ces données ont donc été exploitées pour répartir les surfaces de prairies françaises dans les différentes catégories grâce au protocole suivant.

Tableau 201 : Protocole d'allocation entre les catégories GIEC

Fertilisation minérale ?	Fumure organique ?	Prairie				
		Fortement dégradée	Moyennement dégradée	Gérée nominale	Améliorée	Améliorée ++
<50 kgN/ha/an	OUI				X	
	NON		X			
Entre 50 et 100 kgN/ha/an	NON			X		
Supérieure à 100 kgN/ha/an	NON				X	

Grâce à ce protocole d'allocation les terres ont pu être réparties selon les catégories GIEC de la manière suivante.

Tableau 202 : Répartition des surfaces de prairie par catégorie GIEC

	Prairie				
	Fortement dégradée	Moyennement dégradée	Gérée nominale	Améliorée	Améliorée ++
1990	40%	27%	0%	33%	100%
1998	50%	20%	0%	30%	100%
2006	0%	22%	50%	29%	0%
2011	0%	29%	40%	31%	0%
2017	31%	34%	0%	35%	100%

Entre les années d'enquêtes les données sont extrapolées linéairement. Avant 2006 elles sont supposées équivalentes à l'année 2006 et après 2017 elles sont supposées équivalentes à 2017.

Les surfaces sont ensuite combinées aux facteurs d'ajustement adaptés. Le tableau ci-dessous récapitule les différents facteurs d'ajustement associés aux différents types de prairies, utilisés dans l'inventaire.

Tableau 203 : Valeurs par défaut du GIEC associées aux types de prairie

Catégorie GIEC	Facteur d'ajustement (GIEC)
Prairie fortement dégradée	0,70
Prairie moyennement dégradée	0,95
Prairie gérée nominale	1
Prairie améliorée	1,14
Prairie améliorée ++	1,27

En Outre-mer, faute de données sur les changements de pratiques, aucune variation de stocks de carbone des sols minéraux en cultures restant cultures n'est estimée.

Emissions de N₂O associées

Les prairies sans changement présentent sur certaines années dans l'inventaire actuel une très légère diminution de leur stock de carbone de sol. Une émission de N₂O associée à la perte de carbone (minéralisation) est donc rapportée. 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 et le facteur d'émission de 0,0075 tN-N₂O/tN (table 11.3).

Matière organique du sol (prairies restant prairies) - sols organiques

Les sols organiques en prairie génèrent des émissions de CO₂, de CH₄ et de N₂O liées à leur usage. Les surfaces de sols organiques sont connues à partir de cartes pédologiques pour la métropole [719] et, en Outre-Mer, pour la Guyane [720]. Ces cartes sont croisées avec des cartes d'occupation du sol pour connaître la part de ces sols organiques qui sont sous prairie. A ces surfaces sont appliquées des facteurs d'émissions provenant du Supplément du GIEC sur les Zones Humides [923] (voir plus bas).

6.6.2.2 Terres devenant prairies (4C2)

Biomasse vivante (terres devenant prairies)

Comme pour les prairies restant prairies les flux de biomasse sont estimés sur la base des surfaces de changement et par méthode de variation de stock. Pour tous les changements, les surfaces sont estimées sur une période de 20 ans sauf pour les défrichements (forêts devenant prairies) pour lesquels on utilise une période de 1 an.

Les stocks de carbone de la biomasse vivante ligneuse sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 204 : Stocks de référence pour la biomasse (aérienne et racinaire) des sous-catégories de Prairies

Catégorie Giec	Sous-catégorie nationale	Stock de référence national (biomasse) en tC/ha	Référence	Valeur par défaut du Giec (non utilisée)
	Prairies en herbe	0	[hypothèse]*	6,75***
Prairie [Grassland]	Haies	(58 à 67)**	IFN [202]	60-90****
	Prairies arbustives	6,75***	Giec, [672]	6,75***
	Bosquets	(58 à 67)**	IFN [202]	60-90****

* par définition, les prairies en herbe ne contiennent pas de végétation autres que la strate herbacée. Le stock de carbone sur cette strate est comptabilisé comme nul. La valeur du Giec (2006, vol 4. Chap 6, table 6.4 [672] donnant 13,5 tMS/ha soit 6,75 tC/ha n'est pas utilisée car jugée non représentative de cette sous-catégorie de prairie en herbe. L'une des principales raisons est que seule la biomasse ligneuse est estimée dans l'inventaire à l'heure actuelle (même si le tableau 1.1 du GIEC définit la biomasse comme incluant d'autres parties). Il a été choisi de se concentrer sur la biomasse qui peut être mesurée et estimée sans trop d'hypothèses. Une autre raison est que 10 tms/ha semble élevé pour être utilisé comme stock moyen de carbone de biomasse pour la majorité des cultures annuelles ou des prairies herbacées en France. Le raffinement 2019 du Giec reprend des valeurs similaires avec 4,7 tC/ha pour les cultures annuelles mais cette alternative n'est pas satisfaisante dans la mesure où elle ne prend pas en compte un stock moyen de carbone sur les terres. La biomasse non ligneuse est, de manière cohérente, négligée à la fois dans les forêts et dans les autres utilisations des terres.

** le stock de référence utilisés ici sont les stocks forestiers moyens, en forêt mixte, perdus lors de défrichement fournis par l'IFN [202]. Ce stock varie selon l'année. Comme la donnée [202] s'arrête en 2006, la valeur de 2006 est extrapolée pour les années suivantes. Le détail est donné dans le tableau ci-dessous.

Année	Stock de biomasse de référence pour les haies et les bosquets en tC/ha [202]
1990	58,2
1995	61,0
2000	63,8
2005	66,6
2010	67,2
2015	67,2
2016	67,2
2017	67,2
2018	67,2

*** en prairie arbustive (landes, maquis, garrigue), pour la biomasse non ligneuse la valeur issue du Giec (2006, vol 4. Chap 6, table 6.4) de 13,5 t MS/ha est utilisée : 13,5 t MS/ha * 0.5 tC/tMS = 6,75

**** Giec (2006, vol 4, table 4.12), stock de biomasse par défaut en climat tempéré océanique et continental : 180 - 120 tMS/ha * 0.5 tC/tMS = 90-60 tC/ha.

Les stocks de carbone de la biomasse vivante des autres catégories de terre sont présentés dans la partie introductive sur les réservoirs de carbone.

Bois mort (terres devenant prairies)

Aucun flux de carbone n'est considéré sur le réservoir bois mort sauf s'il s'agit d'un défrichement, ce dernier génère alors une perte brusque du stock de bois mort.

Litière (terres devenant prairies)

Aucun flux de carbone n'est considéré sur le réservoir litière sauf s'il s'agit d'un défrichement, ce dernier génère alors une perte brusque du stock de litière.

Matière organique du sol (terres devenant prairies)

Le passage en usage prairie d'une terre s'accompagne de flux au niveau du réservoir sol estimé à partir du stock de carbone initial et du stock de carbone final par méthode de variation de stock. Il peut s'agir, selon les cas, d'une émission ou d'une absorption de carbone. La méthode de calcul des flux sur les sols lors des changements d'utilisation des terres est décrite plus en détail dans la partie générique.

6.6.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 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).

Depuis l'édition d'inventaire 2016, l'incertitude des émissions de CO₂ 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 CH₄ et de N₂O 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. Par exemple, Le stock de biomasse non ligneuse en prairie est estimé à zéro. Néanmoins, le Giec fournit des valeurs par défaut (Giec, 2006, vol 4. Chap 5, Table 5.9, chap 6 Table 6.4). Il n'est actuellement pas prévu d'améliorer ce point.

6.6.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRF 4C

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO2e	-13 006	-14 103	-13 518	-8 700	-7 791	-6 950	-7 460	-8 081	-8 974	-9 614	-9 241	-8 927	-8 511	-8 224	-7 978	-7 789	-7 586	-7 510	0
Nouveau	kt CO2e	-13 735	-14 831	-14 246	-9 428	-8 519	-7 678	-8 189	-8 809	-9 702	-10 342	-9 969	-9 656	-9 240	-8 953	-8 724	-8 535	-8 332	-8 257	-8 320
Différence	kt CO2e	-729	-728	-728	-728	-728	-728	-728	-728	-728	-729	-729	-729	-729	-729	-746	-746	-746	-747	-8 320
	%	+6%	+5%	+5%	+8%	+9%	+10%	+10%	+9%	+8%	+8%	+8%	+8%	+9%	+9%	+9%	+10%	+10%	+10%	-

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

Description des recalculs

- Les superficies d'histosols cultivés ont été recalculées et revues à la baisse, pour les sous-catégories prairies et cultures. Les émissions associées sont donc fortement revues à la baisse
- Les surfaces de déforestation en Guyane après 2015 ont été recalculées, ce qui impacte légèrement les résultats des terres devenant prairies à partir de 2016.

Raisons et justifications

- L'estimation des superficies d'histosols cultivés a été complètement revue pour intégrer une approche cartographique, de manière à être compatible avec l'approche spatialement explicite du suivi des surfaces d'utilisation des terres en cours de mise en œuvre.
- Des données satellites ont été prises en compte pour mieux estimer la déforestation en Guyane pour les années récentes.

6.6.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
LULUCF	4.C Grassland - CO2 and N2O (L.22, 2019) (L.25, 2017) (L.30, 2016) (L.30, 2015) Completeness	Applying at least the tier 1 IPCC method, report estimates of biomass and soil carbon stock changes, and associated CO2 and N2O emissions, in: (a) Grassland remaining grassland, reporting emissions and removals associated with changes in grassland subcategories; (b) Land converted to grassland, reporting also emissions and removals from conversions of land uses other than forest	The Party reported in its NIR2020 the N2O emissions from mineralisation on grasslands remaining grasslands on p. 561, Table 135 and p. 640. The associated CO2 emissions are still missing, so the ERT considers this issue has not yet been fully addressed.	2021 Review PMF* / L.13	Implemented. CO2 emissions due in Grassland remaining Grassland are reported and explained in the Grassland chapter of the NIR 2022.

		to grassland subcategories.			
--	--	-----------------------------	--	--	--

6.6.7 Améliorations envisagées

Le chantier le plus important pour les prairies concerne les **sols**. Actuellement les flux de carbone sur les sols agricoles sont estimés grâce une méthode de niveau 1 du Giec. Pour les prairies, cette méthode montre clairement ses limites car le suivi des pratiques sur prairies (base de la méthode Giec) est un véritable défi. Plusieurs méthodes ont été imaginées pour aller plus loin que la méthode Giec, la modélisation, le suivi des prairies par tours à flux et le suivi du carbone des sols par variation de stock. Pour l'instant aucune méthode n'a été jugée transposable dans l'inventaire national. Cependant, comme pour les terres cultivées, la piste la plus sûre 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)

Concernant la **biomasse**, l'approche spatialement explicite pour le suivi de l'utilisation des terres devrait aussi permettre un suivi plus fin des stocks de biomasse en prairie (biomasse ligneuse des arbres en zone arborée, des arbres épars et des haies ; biomasse non ligneuse).

6.7 Zones humides (CRF 4D)

6.7.1 Caractéristiques de la catégorie

Les terres humides couvrent seulement 1,2 millions d'hectares en 2020 en France. La tendance estimée légèrement à la hausse ne permet pas une analyse fine du phénomène, les variations calculées résultant de la variabilité interannuelle du système de collecte de la donnée de suivi des terres. L'essentiel des émissions provient de terres forestières converties en zones humides et impliquant donc une perte de biomasse.

Figure 172 : Surfaces et Emissions / Absorptions en zones humides

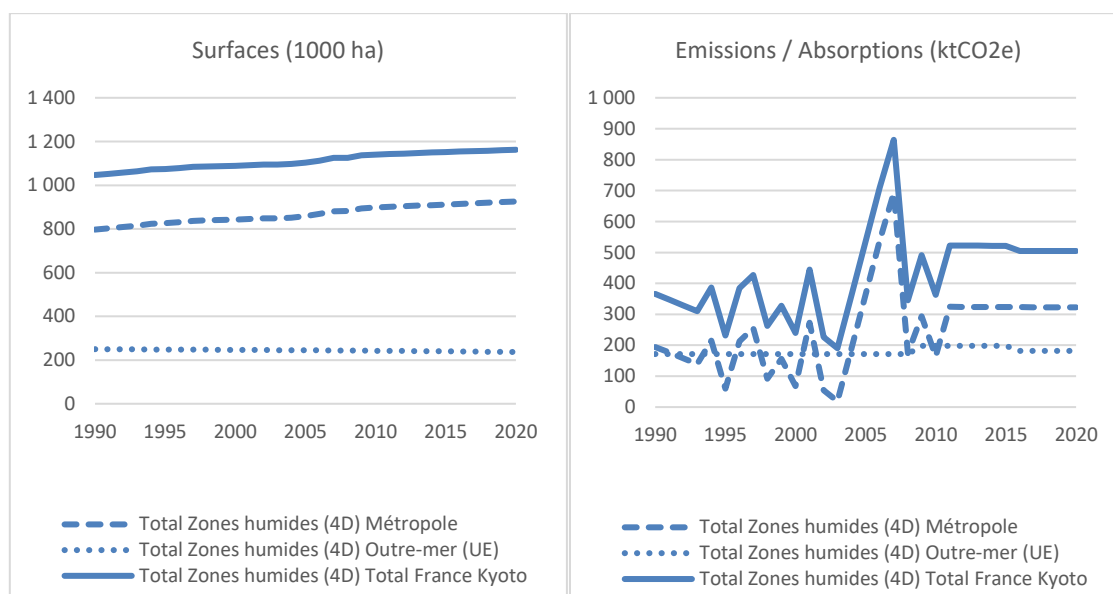


Tableau 205 : Surfaces en zones humides (en milliers d'ha)

	Surfaces (ha)								
	Total Zones humides (4D)			Zones humides restant Zones humides (4D1)			Terres devenant Zones humides (4D2)		
	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto
1990	797	250	1 047	599	248	847	198	2	200
1991	802	249	1 052	600	247	847	203	2	205
1992	808	249	1 057	601	247	847	208	2	210
1993	815	249	1 063	601	246	847	213	3	216
1994	823	248	1 072	603	246	848	221	3	223
1995	826	248	1 074	604	245	849	222	3	225
1996	831	248	1 079	606	245	851	225	3	228
1997	837	247	1 084	608	244	852	229	3	232
1998	839	247	1 086	612	243	856	227	4	230
1999	840	247	1 087	613	243	856	227	4	231
2000	843	246	1 089	618	242	861	224	4	229
2001	845	246	1 091	622	242	864	223	4	228
2002	848	246	1 094	626	241	867	222	5	227
2003	849	245	1 094	629	241	869	220	5	225
2004	852	245	1 097	634	240	874	218	5	223
2005	858	245	1 103	636	239	875	223	5	228
2006	868	244	1 113	636	239	875	232	5	237
2007	881	244	1 125	634	238	873	246	6	252
2008	882	244	1 126	632	238	870	250	6	255
2009	894	243	1 138	639	237	876	256	6	262
2010	898	243	1 140	644	237	880	254	6	260
2011	901	242	1 143	649	236	886	251	6	257
2012	904	241	1 145	656	235	891	248	6	254
2013	906	241	1 147	662	235	897	244	6	250
2014	909	240	1 149	671	234	905	238	6	244
2015	912	240	1 152	673	234	907	239	6	245
2016	915	239	1 154	677	233	910	237	6	243
2017	917	239	1 156	682	233	914	235	6	242
2018	920	238	1 158	681	232	913	239	6	245
2019	923	237	1 160	682	231	914	240	6	247
2020	925	237	1 162	681	231	912	245	6	251

Tableau 206 : Emissions / Absorptions en zones humides (en ktCO₂e)

	Emissions / Absorptions (ktCO ₂ e)								
	Total Zones humides (4D)			Zones humides restant Zones humides (4D1)			Terres devenant Zones humides (4D2)		
	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto
1990	194	171	366	0	0	0	194	171	366
1991	176	171	348	0	0	0	176	171	348
1992	158	171	329	0	0	0	158	171	329
1993	139	171	310	0	0	0	139	171	310
1994	215	171	387	0	0	0	215	171	387
1995	60	171	231	0	0	0	60	171	231
1996	213	171	384	0	0	0	213	171	384
1997	255	171	427	0	0	0	255	171	427
1998	92	171	263	0	0	0	92	171	263
1999	156	171	328	0	0	0	156	171	328
2000	68	171	240	0	0	0	68	171	240
2001	273	171	445	0	0	0	273	171	445
2002	55	171	226	0	0	0	55	171	226
2003	19	171	190	0	0	0	19	171	190
2004	190	171	362	0	0	0	190	171	362
2005	364	171	536	0	0	0	364	171	536
2006	538	171	709	0	0	0	538	171	709
2007	693	171	864	0	0	0	693	171	864
2008	174	171	346	0	0	0	174	171	346
2009	293	198	491	0	0	0	293	198	491
2010	164	198	362	0	0	0	164	198	362
2011	324	198	522	0	0	0	324	198	522
2012	324	198	522	0	0	0	324	198	522
2013	324	198	522	0	0	0	324	198	522
2014	324	198	522	0	0	0	324	198	522
2015	323	198	521	0	0	0	323	198	521
2016	323	182	505	0	0	0	323	182	505
2017	323	182	505	0	0	0	323	182	505
2018	323	182	505	0	0	0	323	182	505
2019	323	182	505	0	0	0	323	182	505
2020	322	182	504	0	0	0	322	182	504

6.7.2 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/fr/ominea>

De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Emissions de CO₂

Emissions de CO₂ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les flux de CO₂ sont directement estimés à partir des flux de carbone observés entre les différents réservoirs de carbone des terres définis par le GIEC.

Emissions de CO₂ liées au brûlage

Les émissions de CO₂ 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 CH₄

Emissions de CH₄ 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 zones humides.

Emissions de CH₄ liées au brûlage

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 ou d'un défrichement est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond au solde une fois pris en compte la récolte et la part laissée en décomposition. Elle est en moyenne de 13%. 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)**

Aucune fertilisation n'est supposée sur les terres humides.

Emissions de N₂O 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 zones humides.

Emissions de N₂O liées à la minéralisation des sols

Les émissions de N₂O liées à la minéralisation des sols sont actuellement négligées dans l'inventaire français pour les terres humides.

Emissions de N₂O liées au brûlage

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 ou d'un défrichement est prise en compte. Lors de l'exploitation, la part de biomasse brûlée correspond au solde une fois pris en compte la récolte et la part laissée en décomposition. Elle est en moyenne de 13%. Les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

6.7.2.1 Terres humides restant terres humides (4D1)***Biomasse vivante (terres humides restant terres humides)***

Bien que ces surfaces puissent porter de la biomasse ligneuse, les informations disponibles ne permettent pas d'en évaluer l'accroissement, le prélèvement ou la variation de stock. Le bilan est donc supposé neutre pour ces terres.

Bois mort (terres humides restant terres humides)

Le stock de bois mort est négligé sur l'ensemble des terres humides restant terres humides.

Litière (terres humides restant terres humides)

Le stock de litière est négligé sur l'ensemble des terres humides restant terres humides.

Matière organique du sol (terres humides restant terres humides)

Il est considéré que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps.

6.7.2.2 Terres devenant terres humides (4D2)***Biomasse vivante (terres devenant terres humides)***

Il est considéré que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps sauf s'il s'agit d'un défrichement, ce dernier génère alors une perte du stock de biomasse vivante.

Bois mort (terres devenant terres humides)

Aucun flux de carbone n'est considéré sur le réservoir bois mort sauf s'il s'agit d'un défrichement, ce dernier génère alors une perte brusque du stock de bois mort.

Litière (terres devenant terres humides)

Aucun flux de carbone n'est considéré sur le réservoir litière sauf s'il s'agit d'un défrichement, ce dernier génère alors une perte brusque du stock de litière.

Matière organique du sol (terres devenant terres humides)

En raison de la difficulté à caractériser les sols des terres humides, les flux de carbone des sols sur les terres devenant terres humides sont négligés

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).

Depuis l'édition d'inventaire 2016, l'incertitude des émissions de CO₂ 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 CH₄ et de N₂O 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 CRF 4D

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	366	231	240	536	709	864	346	491	362	522	522	522	522	521	521	521	521	521	0
Nouveau	kt CO ₂ e	366	231	240	536	709	864	346	491	362	522	522	522	522	521	505	505	505	505	504
Différence	kt CO ₂ e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-16	-16	-16	-16	+504
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-3%	-3%	-3%	-3%	-

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

Description des recalculs

Les surfaces de déforestation en Guyane après 2015 ont été recalculées, ce qui impacte légèrement les résultats des terres devenant zones humides à partir de 2016.

Raisons et justifications

Des données satellites ont été prises en compte pour mieux estimer la déforestation en Guyane pour les années récentes.

6.7.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report/ paragraph	MS response / status of implementation
LULUCF	4.D. Wetlands - CO2 and N2O (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.	The Party did not report any information on the methodology for the land conversion from and to wetlands in its NIR. During the review, the Party clarified that this has not yet been addressed.	2021 Review PMF* / L.14	not resolved yet

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 2^e 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.

L'approche spatialement explicite pour le suivi de l'utilisation des terres devrait aussi permettre un suivi plus pertinent des surfaces de zones humides et surtout des surfaces de conversions à partir ou vers cette catégorie.

6.8 Zones urbanisées (CRF 4E)

6.8.1 Caractéristiques de la catégorie

Les zones urbanisées couvrent 5,9 millions d'hectares en 2020 en France, contre 4,2 millions d'hectares en 1990, soit une hausse de 40%.

Les émissions de CO₂ sont en grande partie dues à l'artificialisation des prairies et des cultures en métropole et aux défrichements liés à l'orpaillage en Guyane. Elles correspondent en grande majorité à la perte de carbone estimée pour le réservoir sol.

Figure 173 : Surfaces et Emissions / Absorptions en zones urbanisées

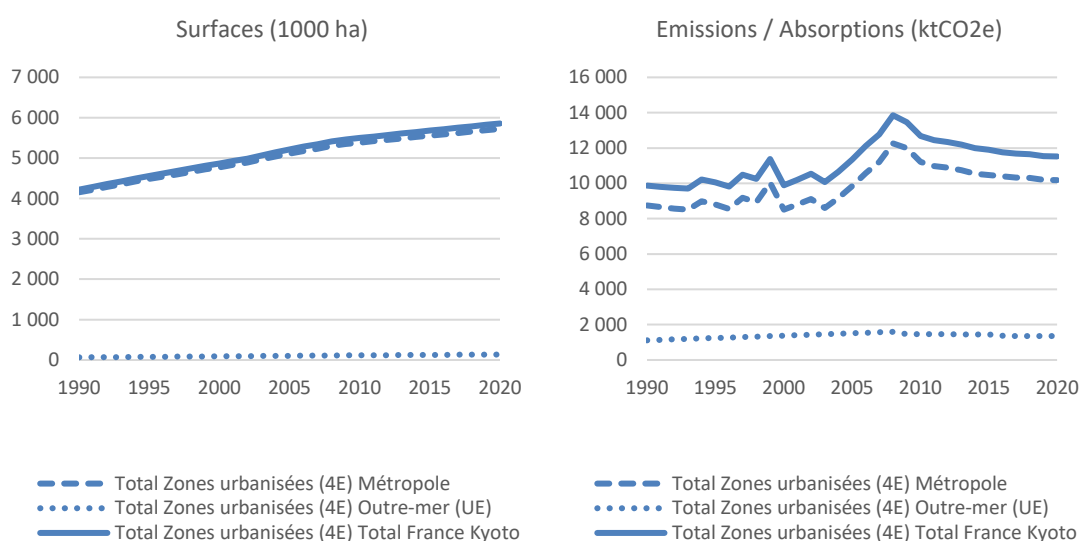


Tableau 207 : Surfaces en zones urbanisées (en milliers d'ha)

	Surfaces (ha)								
	Total Zones urbanisées (4E)			Zones urbanisées restant Zones urbanisées (4E1)			Terres devenant Zones urbanisées (4E2)		
	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto
1990	4 154	65	4 220	2 432	34	2 466	1 723	31	1 754
1991	4 219	68	4 287	2 485	36	2 521	1 734	32	1 766
1992	4 285	70	4 355	2 538	37	2 575	1 746	34	1 780
1993	4 351	73	4 424	2 591	38	2 628	1 760	35	1 796
1994	4 422	76	4 497	2 643	39	2 682	1 779	36	1 815
1995	4 482	78	4 560	2 703	40	2 743	1 780	38	1 818
1996	4 543	81	4 623	2 759	41	2 800	1 784	39	1 823
1997	4 600	83	4 684	2 814	43	2 856	1 787	41	1 827
1998	4 663	86	4 749	2 880	44	2 924	1 783	42	1 825
1999	4 725	88	4 813	2 938	45	2 983	1 786	43	1 830
2000	4 774	91	4 865	3 004	46	3 050	1 770	45	1 815
2001	4 835	94	4 928	3 065	47	3 113	1 770	46	1 816
2002	4 886	96	4 982	3 126	48	3 174	1 761	48	1 808
2003	4 967	99	5 065	3 195	50	3 244	1 772	49	1 821
2004	5 043	101	5 145	3 277	51	3 328	1 767	50	1 817
2005	5 115	104	5 219	3 326	52	3 378	1 789	52	1 841
2006	5 179	106	5 285	3 359	53	3 412	1 820	53	1 873
2007	5 234	109	5 342	3 380	54	3 434	1 854	54	1 908
2008	5 300	111	5 411	3 413	55	3 468	1 887	56	1 943
2009	5 347	113	5 460	3 453	58	3 511	1 893	56	1 949
2010	5 385	115	5 500	3 513	60	3 573	1 872	55	1 928
2011	5 419	117	5 536	3 584	62	3 646	1 835	55	1 891
2012	5 453	119	5 572	3 656	64	3 720	1 797	55	1 852
2013	5 487	121	5 608	3 730	66	3 796	1 757	55	1 813
2014	5 521	123	5 644	3 808	68	3 876	1 713	55	1 768
2015	5 555	125	5 680	3 868	70	3 939	1 687	55	1 741
2016	5 588	127	5 716	3 932	73	4 004	1 657	55	1 711

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

2017	5 622	129	5 751	3 994	75	4 069	1 628	54	1 682
2018	5 656	131	5 787	4 050	77	4 127	1 605	54	1 659
2019	5 689	133	5 822	4 114	79	4 193	1 576	54	1 629
2020	5 723	135	5 858	4 158	81	4 239	1 565	54	1 619

Tableau 208 : Emissions / Absorptions en zones urbanisées (en ktCO₂e)

Emissions / Absorptions (ktCO ₂ e)									
Total Zones urbanisées (4E)			Zones urbanisées restant Zones urbanisées (4E1)			Terres devenant Zones urbanisées (4E2)			
Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	
1990	8 753	1 113	9 865	25	0	25	8 728	1 113	9 841
1991	8 654	1 139	9 793	11	0	11	8 643	1 139	9 783
1992	8 572	1 166	9 738	-6	0	-6	8 579	1 166	9 745
1993	8 512	1 193	9 705	-23	0	-23	8 535	1 193	9 728
1994	8 990	1 219	10 210	-13	0	-13	9 003	1 219	10 223
1995	8 809	1 246	10 055	-3	0	-3	8 812	1 246	10 058
1996	8 545	1 273	9 818	0	0	0	8 545	1 273	9 818
1997	9 190	1 300	10 489	-10	0	-10	9 200	1 300	10 500
1998	8 933	1 326	10 259	-11	0	-11	8 943	1 326	10 270
1999	10 032	1 353	11 385	-24	0	-24	10 056	1 353	11 409
2000	8 511	1 380	9 891	-29	0	-29	8 541	1 380	9 920
2001	8 796	1 406	10 203	-14	0	-14	8 811	1 406	10 217
2002	9 115	1 433	10 548	-4	0	-4	9 119	1 433	10 552
2003	8 613	1 460	10 073	-1	0	-1	8 614	1 460	10 074
2004	9 165	1 487	10 652	21	0	21	9 144	1 487	10 631
2005	9 833	1 513	11 346	46	0	46	9 787	1 513	11 300
2006	10 586	1 540	12 126	101	0	101	10 485	1 540	12 025
2007	11 205	1 567	12 772	164	0	164	11 042	1 567	12 608
2008	12 261	1 593	13 854	163	0	163	12 098	1 593	13 691
2009	11 987	1 466	13 453	202	0	202	11 785	1 466	13 251
2010	11 216	1 463	12 679	243	0	243	10 973	1 463	12 435
2011	10 987	1 459	12 446	281	0	281	10 705	1 459	12 165
2012	10 880	1 456	12 337	322	0	322	10 558	1 456	12 015
2013	10 749	1 453	12 202	362	0	362	10 387	1 453	11 840
2014	10 547	1 450	11 996	370	0	370	10 177	1 450	11 626
2015	10 464	1 446	11 911	378	0	378	10 086	1 446	11 532
2016	10 389	1 367	11 757	394	0	394	9 995	1 367	11 363
2017	10 317	1 362	11 679	423	0	423	9 894	1 362	11 256
2018	10 299	1 357	11 656	441	0	441	9 858	1 357	11 215
2019	10 193	1 352	11 545	472	0	472	9 722	1 352	11 073
2020	10 181	1 346	11 527	494	0	494	9 687	1 346	11 033

6.8.2 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>

De plus, depuis la soumission 2020, de très nombreuses informations sont également disponibles dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Emissions de CO₂

Les flux de CO₂ sont directement estimés à partir des flux de carbone observés entre les différents réservoirs de carbone des terres définis par le GIEC.

Emissions de CH₄, N₂O

Conformément au guide UTCF, la génération de CH₄ et de N₂O issus 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, il est estimé que 13% environ de la biomasse aérienne est brûlée sur site, les facteurs d'émission proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [672].

6.8.2.1 Zones urbanisées restant zones urbanisées (4E1)

Biomasse vivante (zones urbanisées restant zones urbanisées)

Bien que ces surfaces puissent porter de la biomasse ligneuse, les informations disponibles ne permettent pas d'en évaluer l'accroissement, le prélèvement ou la variation de stock. Le bilan est donc supposé neutre pour ces terres.

Bois mort (zones urbanisées restant zones urbanisées)

Il est considéré que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps.

Litière (zones urbanisées restant zones urbanisées)

Il est considéré que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps.

Matière organique du sol (zones urbanisées restant zones urbanisées)

Il est considéré que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps.

6.8.2.2 Terres devenant zones urbanisées (4E2)

Biomasse vivante (terres devenant zones urbanisées)

Il est considéré que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps sauf s'il s'agit d'un défrichement, ce dernier génère alors une perte brusque du stock de biomasse vivante.

Bois mort (terres devenant zones urbanisées)

Aucun flux de carbone n'est considéré sur le réservoir bois mort sauf s'il s'agit d'un défrichement, ce dernier génère alors une perte brusque du stock de bois mort.

Litière (terres devenant zones urbanisées)

Aucun flux de carbone n'est considéré sur le réservoir litière sauf s'il s'agit d'un défrichement, ce dernier génère alors une perte brusque du stock de litière.

Matière organique du sol (terres devenant zones urbanisées)

Le passage en zone urbanisée d'une terre s'accompagne de flux au niveau du réservoir sol estimés à partir du stock de carbone initial et du stock de carbone final par la méthode de variation de stock. Les stocks de carbone du sol dans les zones urbanisées sont estimés à partir d'une revue de littérature menée dans le cadre des travaux de thèse de C. Robert [721]. D'après ces travaux, les sols nus, revêtus ou artificialisés ont un stock moyen de 30 tC/ha ; les sols urbanisés en herbe ont un stock similaire, en moyenne, au stock sous prairie et les sols urbanisés arborés ont un stock similaire, en moyenne, au stock sous forêt. Dans ces deux derniers cas, les stocks régionaux des prairies et des forêts sont utilisés.

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 urbanisées. 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.

6.8.3 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).

Depuis l'édition d'inventaire 2016, l'incertitude des émissions de CO₂ 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 CH₄ et de N₂O 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 CRF 4E

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	9 732	9 904	9 749	11 227	11 989	12 618	13 674	13 267	12 494	12 270	12 171	12 049	11 858	11 779	11 710	11 641	11 621	11 519	0
Nouveau	kt CO ₂ e	9 733	9 919	9 756	11 215	11 990	12 631	13 707	13 303	12 529	12 298	12 191	12 058	11 856	11 771	11 619	11 544	11 521	11 412	11 395
Différence	kt CO ₂ e	+0,066	+15	+7,5	-12	+0,50	+13	+33	+36	+35	+28	+20	+9,3	-2,4	-7,5	-90	-97	-100	-108	+11 395
	%	+0%	+0%	+0%	-0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	-0%	-0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-

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

Description des recalculs

Les surfaces de déforestation en Guyane après 2015 ont été recalculées, ce qui impacte légèrement les résultats des terres devenant zones artificielles à partir de 2016.

Raisons et justifications

Des données satellites ont été prises en compte pour mieux estimer la déforestation en Guyane pour les années récentes.

6.8.6 Améliorations envisagées

L'approche spatialement explicite pour le suivi de l'utilisation des terres devrait permettre un suivi plus pertinent des surfaces de zones artificielles et surtout des surfaces de conversions à partir ou vers cette catégorie.

6.9 Autres terres (CRF 4F)

6.9.1 Caractéristiques de la catégorie

Les autres terres (roches affleurantes, etc.) couvrent environ 1 million d'hectares en 2020 et constituent la source la plus faible d'émissions compte tenu des faibles perturbations des sols. Il s'agit de terres sans stock de carbone significatif, ni dans les sols, ni dans la biomasse. Aucune émission ni absorption n'est comptabilisée sur ces terres.

Figure 174 : Surfaces et Emissions / Absorptions en autres terres

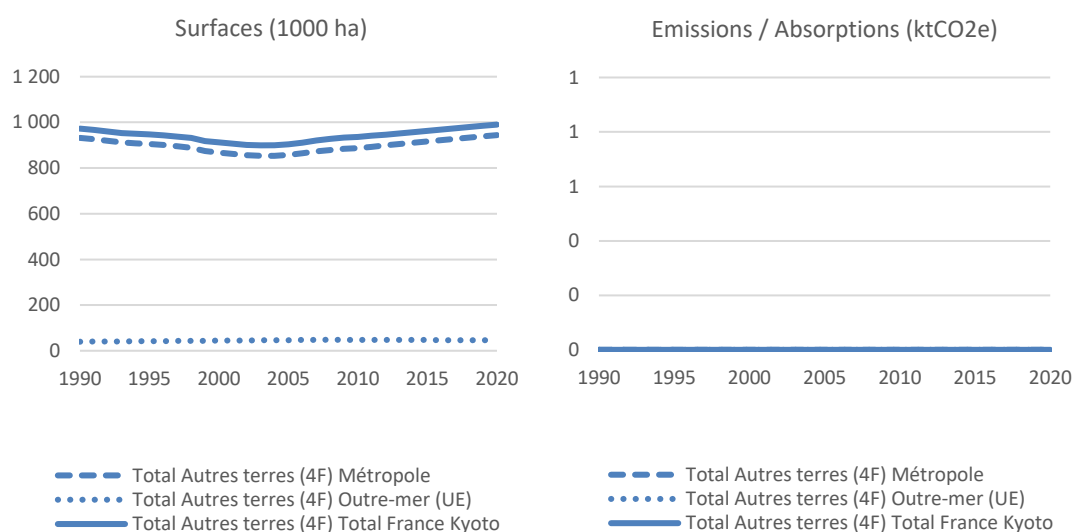


Tableau 209 : Surfaces en autres terres (en milliers d'ha)

	Surfaces (ha)								
	Total Autres terres (4F)			Autres terres restant Autres terres (4F1)			Terres devenant Autres terres (4F2)		
	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto
1990	933	40	972	825	32	857	108	8	116
1991	927	40	967	819	31	850	108	9	117
1992	920	41	960	811	31	842	109	10	119
1993	912	41	953	802	31	832	110	10	121
1994	908	42	950	794	30	825	114	11	125
1995	906	42	948	793	30	823	113	12	125
1996	900	42	943	786	30	815	115	13	127
1997	895	43	938	780	29	809	115	14	129
1998	889	43	932	776	29	804	113	15	128
1999	874	44	918	757	28	785	117	15	133
2000	868	44	912	751	28	779	117	16	134
2001	862	45	907	745	28	773	117	17	134
2002	856	45	902	741	28	769	115	18	133
2003	854	46	899	742	27	769	112	18	130
2004	854	46	900	744	27	771	110	19	129
2005	857	47	904	742	27	769	116	20	136
2006	864	47	911	744	27	771	120	21	141
2007	873	48	921	740	26	767	133	21	155
2008	879	48	928	739	26	765	140	22	162
2009	885	48	933	740	26	766	145	22	167
2010	888	48	936	743	27	769	145	21	167
2011	893	48	941	748	27	775	145	21	166
2012	899	48	947	754	27	781	145	21	166
2013	905	47	952	761	27	788	144	20	164
2014	910	47	958	769	27	797	141	20	161
2015	916	47	963	774	27	801	142	20	162
2016	922	47	968	781	27	808	141	19	160
2017	927	47	974	786	27	814	141	19	160

2018	933	46	979	789	28	817	143	19	162
2019	939	46	985	799	28	827	140	18	158
2020	944	46	990	804	28	832	140	18	158

6.9.2 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 CO₂

Emissions de CO₂ liées à la variation de stocks des différents réservoirs de carbone

Les variations de stock de carbone sont négligées sur les autres terres et par conséquent les éventuels flux de CO₂ également.

Emissions de CO₂ liées au brûlage

Aucun brûlage n'est pris en compte sur les autres terres, les émissions liées aux éventuels brûlages sont donc négligées.

Emissions de CH₄

Emissions de CH₄ 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 sur les autres terres.

Emissions de CH₄ liées au brûlage

Aucun brûlage n'est pris en compte sur les autres terres, les émissions liées aux éventuels brûlages sont donc négligées.

Emissions de N₂O

Emissions de N₂O liées à la fertilisation (directes et indirectes)

Aucune fertilisation n'est supposée sur les autres terres.

Emissions de N₂O 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 sur les autres terres.

Emissions de N₂O liées à la minéralisation des sols

Les émissions de N₂O liées à la minéralisation des sols sont actuellement négligées dans l'inventaire français pour les autres terres.

Emissions de N₂O liées au brûlage

Aucun brûlage n'est pris en compte sur les autres terres, les émissions liées aux éventuels brûlages sont donc négligées.

6.9.2.1 Autres terres restant autres terres

La catégorie des « autres terres » restant « autres terres » correspond à l'ensemble des terres en usage « autres terres » au sens du GIEC depuis au moins 20 ans (période par défaut définie par le GIEC).

Biomasse vivante (autres terres restant autres terres)

Bien que ces surfaces puissent porter de la biomasse ligneuse, les informations disponibles ne permettent pas d'en évaluer l'accroissement, le prélèvement ou la variation de stock. Le bilan est donc supposé neutre pour ces catégories.

Bois mort (autres terres restant autres terres)

Il est considéré que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps.

Litière (autres terres restant autres terres)

Il est considéré que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps.

Matière organique du sol (autres terres restant autres terres)

Il est considéré que le stock de carbone de ce réservoir n'évolue pas au cours du temps.

6.9.2.2 Terres devenant autres terres

Les terres devenant autres terres sont difficiles à traiter, car il s'agit de processus censés être rares : conversion de surfaces auparavant boisées, cultivées... en zones minérales (sable, roches, terres nues, glaciers...).

La source de données utilisées pour suivre l'utilisation des terres, TerUti, génère en partie des changements qui sont des artefacts méthodologiques. Cela se renforce en particulier pour des espaces semi-naturels complexes (zones de montagne, espaces littoraux...) où la variabilité de l'évaluation par les enquêteurs de terrain est plus forte.

Les terres devenant autres terres étant des conversions improbables ou très rares, il est jugé improbable d'avoir des flux de carbone importants liés à de tels phénomènes.

Plutôt que de corriger les valeurs de surfaces de changement d'utilisation des terres, nous adoptons une approche plus simple qui consiste à ne pas comptabiliser de flux de carbone sur ces changements. Ainsi, une hypothèse de précaution est appliquée : il est considéré que les stocks de carbone de ces autres terres n'évoluent pas au cours du temps.

Biomasse vivante (terres devenant autres terres)Bois mort (terres devenant autres terres)

Aucun flux de carbone n'est considéré sur le réservoir bois mort.

Litière (terres devenant autres terres)

Aucun flux de carbone n'est considéré sur le réservoir litière.

Matière organique du sol (terres devenant autres terres)

Aucun flux de carbone n'est considéré sur le réservoir sol.

6.9.3 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).

Depuis l'édition d'inventaire 2016, l'incertitude des émissions de CO₂ 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 CRF 4F

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nouveau	kt CO ₂ e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Différence	kt CO ₂ e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Description des recalculs

Pas de recalcul.

6.9.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report/ paragraph	MS response / status of implementation
LULUCF	4.F.2 Land converted to other land - CO ₂ and N ₂ O (L.25, 2019) (L.28, 2017) (L.33, 2016) (L.33, 2015) Completeness	Estimate SOC losses and associated CO ₂ and N ₂ O emissions originated from conversions of cropland, grassland, wetlands and settlements to other land either applying the IPCC default assumption (i.e. all SOC lost in the conversion), or applying a country-specific SOC factor for other land.	The Party did not report an estimate of the SOC losses and associated CO ₂ and N ₂ O emissions. During the review, the Party clarified that the conversion from and to other lands are not identified as reliable enough to estimate emissions/removals. The ERT considers that therefore the reliability of the country AD on land converted to other lands may be questionable, and that the Party may wish to reconsider its definition of other land or how it categorises land as being converted to other land as an alternative way of resolving this issue.	2021 Review PMF* / L.15	not resolved yet

6.9.7 Améliorations envisagées

L'approche spatialement explicite pour le suivi de l'utilisation des terres devrait aussi permettre un suivi plus pertinent des surfaces d'autres terres et surtout des surfaces de conversions à partir ou vers cette catégorie.

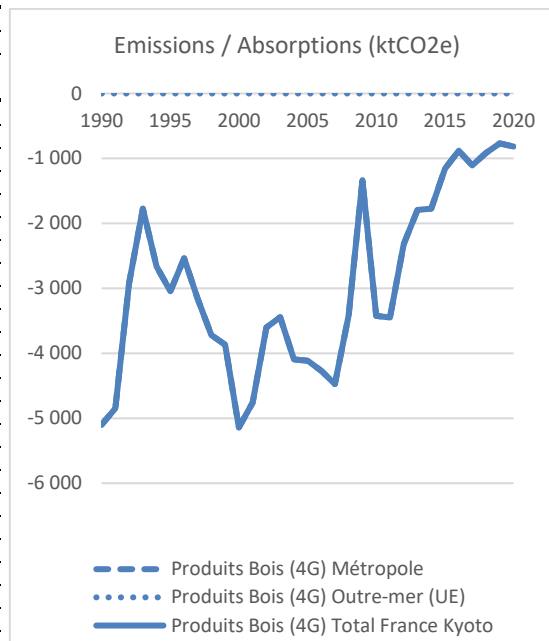
6.10 Produits bois (CRF 4G)

6.10.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette section concerne les absorptions et les émissions de CO₂ 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 210 : Emissions /absorptions pour les produits bois (ktCO₂e)

	Emissions / Absorptions (ktCO ₂ e)		
	Produits Bois (4G)		
	Métropole	Outre-mer (UE)	Total France Kyoto
1990	-5 100	0	-5 100
1991	-4 846	0	-4 846
1992	-2 921	0	-2 921
1993	-1 775	0	-1 775
1994	-2 666	0	-2 666
1995	-3 042	0	-3 042
1996	-2 538	0	-2 538
1997	-3 156	0	-3 156
1998	-3 721	0	-3 721
1999	-3 870	0	-3 870
2000	-5 141	0	-5 141
2001	-4 762	0	-4 762
2002	-3 599	0	-3 599
2003	-3 443	0	-3 443
2004	-4 093	0	-4 093
2005	-4 112	0	-4 112
2006	-4 273	0	-4 273
2007	-4 473	0	-4 473
2008	-3 412	0	-3 412
2009	-1 334	0	-1 334
2010	-3 425	0	-3 425
2011	-3 449	0	-3 449
2012	-2 322	0	-2 322
2013	-1 791	0	-1 791
2014	-1 772	0	-1 772
2015	-1 159	0	-1 159
2016	-883	0	-883
2017	-1 108	0	-1 108
2018	-914	0	-914
2019	-768	0	-768
2020	-814	0	-814



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 CO₂

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 chaîne 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 pendant les périodes d'engagement du Protocole de Kyoto, la comptabilisation des PLR démarre dès 1900. De plus, lors de la première période d'engagement les flux de carbone provenant des PLR produits entre 2008 et 2012, comptabilisés par la méthode d'oxydation instantanée, sont exclus du stock de produits bois en cours de décomposition.

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.

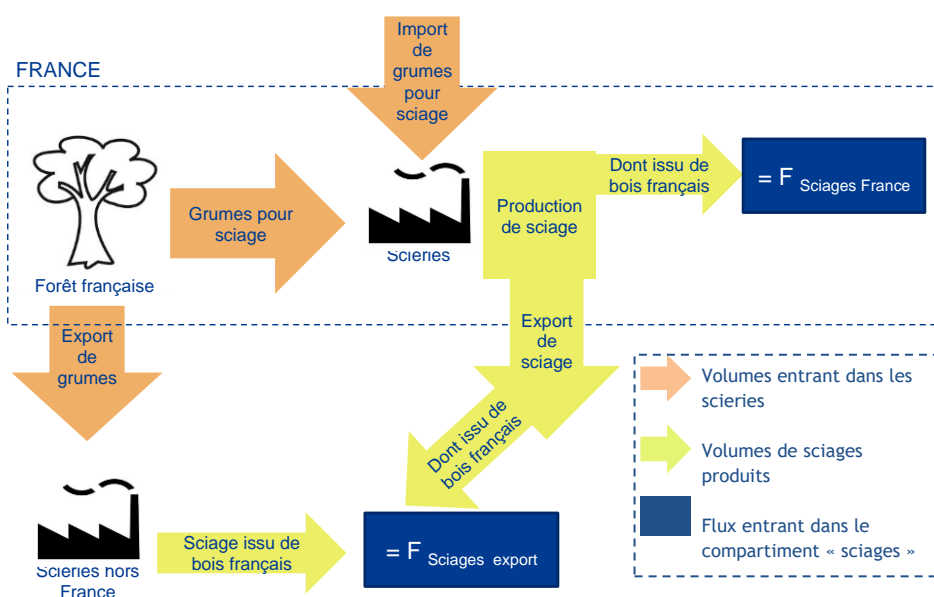


Figure 175 : Flux considérés dans la formulation concernant le compartiment "sciages"

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 211 : 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

Donnée	Source
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.

- *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 212 : 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.

Ces informations sont directement fournies par les statistiques de récolte de bois présentées dans cette section (DISAR, Eurostat). Il est supposé que le bois exporté provient de bois récolté en France.

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.

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 213 : Production de produits bois issus des prélèvements intérieurs

LULUCF_background.xls

	Sciages (tC)	Panneaux (tC)	Contreplaqués (tC)	Papier (tC)
1990	1 381 630	1 393 864	250 859	1 082 393
1991	1 334 158	1 410 408	234 913	1 112 403
1992	1 274 972	997 647	220 943	1 112 749
1993	1 183 898	933 664	202 764	991 172
1994	1 253 522	981 322	216 122	1 120 137
1995	1 284 939	1 028 648	223 680	1 166 061
1996	1 223 491	1 124 597	211 399	1 030 175
1997	1 257 909	1 208 578	217 999	1 094 113
1998	1 315 430	1 325 091	226 683	1 094 908
1999	1 320 330	1 369 632	228 837	1 117 290
2000	1 371 415	1 444 364	318 002	1 294 827
2001	1 378 137	1 515 352	262 527	1 220 675
2002	1 262 506	1 483 431	219 609	1 128 818
2003	1 246 348	1 534 858	216 322	1 074 762
2004	1 279 394	1 609 121	220 494	1 165 354
2005	1 289 957	1 715 994	200 139	1 102 437
2006	1 311 392	1 722 458	209 368	1 139 257
2007	1 287 026	1 833 847	229 850	1 117 538
2008	1 226 707	1 664 846	226 436	1 084 623
2009	1 088 518	1 364 837	246 791	936 138
2010	1 188 992	1 610 037	186 990	1 227 581
2011	1 268 256	1 662 342	195 967	1 120 884
2012	1 141 881	1 579 852	170 428	1 063 431
2013	1 121 295	1 539 105	171 439	980 775
2014	1 086 979	1 479 504	187 875	1 052 841
2015	1 074 417	1 410 865	183 324	968 780
2016	1 077 453	1 381 690	197 989	895 182
2017	1 107 191	1 384 555	210 216	902 366
2018	1 096 359	1 356 278	227 803	862 710
2019	1 050 846	1 357 844	248 272	834 277
2020	1 050 846	1 357 844	248 272	834 277

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 214 : Fin de vie des produits bois issus des prélèvements intérieurs

LULUCF_background.xls

	Sciages (tC)	Panneaux (tC)	Contreplaqués (tC)	Papier (tC)
1990	890 167	766 432	128 817	932 363
1991	906 957	783 817	131 421	947 945
1992	917 256	795 281	133 625	963 466
1993	920 351	799 936	135 411	971 714
1994	922 876	804 248	137 102	979 728
1995	929 662	809 740	138 994	995 166
1996	934 752	817 044	140 787	1 004 766
1997	938 665	826 607	142 476	1 010 225
1998	946 157	838 653	144 300	1 018 172
1999	955 410	852 566	146 206	1 026 479
2000	966 073	867 732	149 116	1 043 547
2001	977 598	884 475	152 337	1 063 684
2002	983 035	901 288	154 362	1 074 083
2003	982 937	917 913	155 815	1 076 653
2004	984 091	935 803	157 244	1 080 816
2005	987 259	955 683	158 456	1 085 771
2006	991 803	976 563	159 513	1 089 106
2007	996 172	998 489	160 887	1 092 794
2008	996 970	1 019 011	162 423	1 093 549
2009	990 124	1 032 550	164 118	1 085 593
2010	983 703	1 045 005	165 321	1 085 468
2011	985 851	1 061 174	165 919	1 093 753
2012	986 011	1 076 480	166 312	1 093 558
2013	981 181	1 089 685	166 418	1 086 757
2014	975 749	1 101 156	166 721	1 080 219
2015	969 998	1 110 559	167 152	1 073 610
2016	965 262	1 118 370	167 690	1 060 200
2017	963 055	1 125 610	168 522	1 044 987
2018	962 261	1 132 302	169 676	1 029 641
2019	959 599	1 138 449	171 238	1 012 541
2020	955 941	1 144 448	172 997	995 735

L'intégralité du bilan des produits bois utilisées dans l'inventaire est disponible par produit et par année dans l'annexe LULUCF_background.xlsx.

Discussion

Différence entre l'approche GIEC (appliquée) et l'approche Gamma (non utilisée)

La fonction plus évoluée, à deux paramètres, qui s'appuie sur la fonction de distribution Gamma présentait notamment l'intérêt de corriger l'erreur intrinsèque portée par la fonction de décomposition de 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.

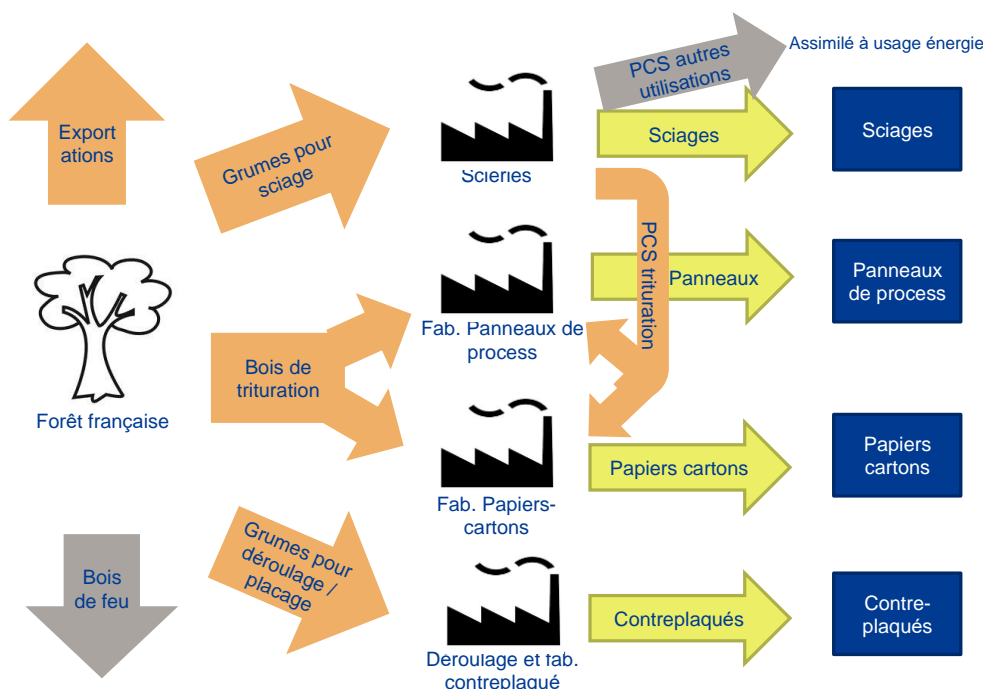
PLR obtenus via l'article 3.3 ou via l'article 3.4 :

Il est normalement prévu que le bois provenant d'activités de déboisements soit comptabilisé via la méthode d'oxydation instantanée. Au vu des données statistiques disponibles sur l'évolution des prélèvements, qui ne distinguent pas le bois par son origine en termes de gestion forestière (gestion ou déboisement), et sachant que les terres déboisées représentent actuellement moins de 5% du total formé par les terres forestières gérées et les terres déboisées, le bois provenant de l'activité déboisement est considéré, par hypothèse, comme du bois énergie et comptabilisé en oxydation instantanée.

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 176 : Vision d'ensemble des flux utilisés dans la méthode

**Emissions de CH₄**

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances provenant des produits bois.

Emissions de N₂O

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 2^{ème} 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 CO₂. 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 CRF 4G

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO ₂ e	-5 100	-3 042	-5 141	-4 112	-4 273	-4 473	-3 412	-1 334	-3 425	-3 449	-2 322	-1 791	-1 772	-1 159	-883	-1 108	-914	-768	0
Nouveau	kt CO ₂ e	-5 100	-3 042	-5 141	-4 112	-4 273	-4 473	-3 412	-1 334	-3 425	-3 449	-2 322	-1 791	-1 772	-1 159	-883	-1 108	-914	-768	-814
Différence	kt CO ₂ e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-814
	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

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

Description des recalculs

Pas de recalculs.

6.10.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
LULUCF	4.G HWP - CO ₂ (L.39, 2019) Transparency	Provide information in the NIR on the HWP in SWDS, namely, whether the emissions/removals are significant; if they are insignificant, "NE" can be reported, but if they are significant, AD should be collected and tier 1 data, consistent with the waste sector, used for calculating the estimates	The Party reported that this has not been planned yet.	2021 Review PMF* / L.26	not resolved yet

6.10.7 Améliorations envisagées

Il est envisagé d'améliorer les points suivants :

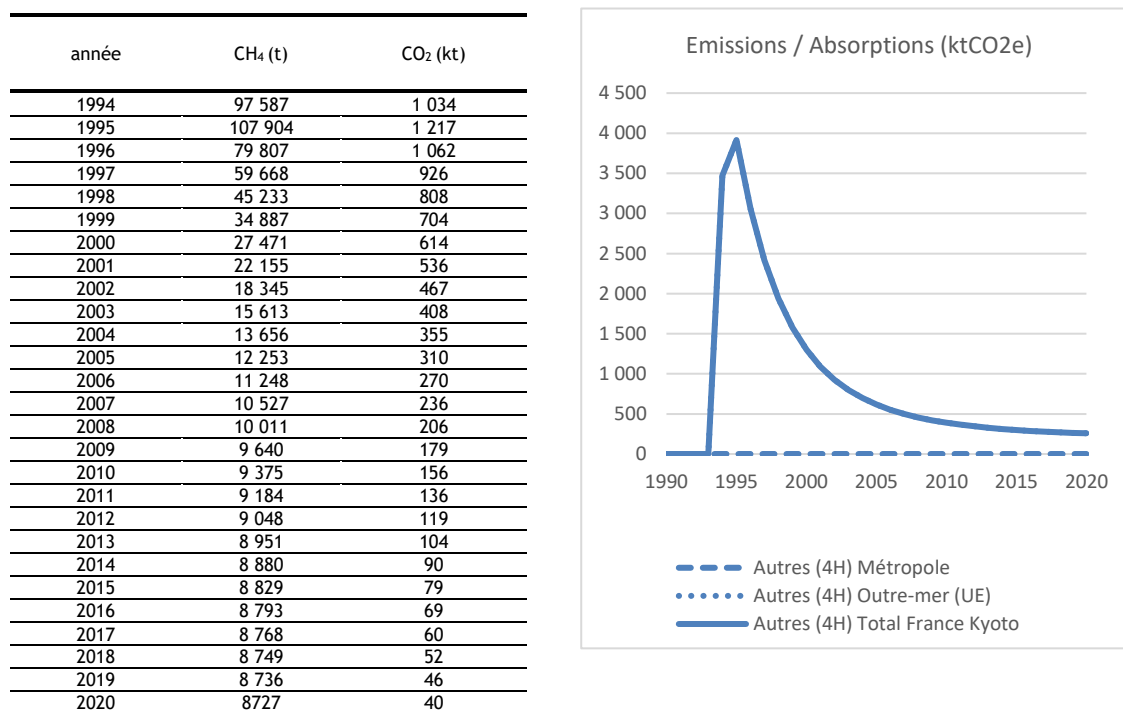
- Amélioration de la robustesse de l'estimation des récoltes de bois, en cohérence avec les travaux en cours sur les différences entre IGN et EAB, l'estimation des récoltes de bois énergie en forêt et hors forêt, et les estimations sur l'import/export
- Mise à jour de l'estimation des durées de vie des produits bois, variation de ces paramètres dans le temps, meilleure prise en compte du recyclage ;
- Mise à jour des données sur la répartition des sciages par type de produits.
-

6.11 Autres (CRF 4H)

6.11.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette catégorie comporte le barrage de Petit Saut en Guyane mis en eau en 1994 qui s'étend sur 30 000 ha.

Figure 177 : Emissions de CH₄ et de CO₂ dues au barrage de Petit-Saut en Guyane



6.11.2 Méthode d'estimation des émissions

La mise en eau d'un barrage est une source potentielle de CH₄ et CO₂ par dégradation de la biomasse immergée. La mise en eau en 1994 du barrage de Petit Saut en Guyane a conduit à inonder 300 km² 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 et prises en compte dans le cadre de l'article 3.3 pour le Protocole de Kyoto.

Emissions de CO₂, CH₄

Les émissions de CH₄ et de CO₂ 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 N₂O

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 2^{ème} 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 CO₂. L'incertitude des émissions de CH₄ 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 CRF 4H

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ancien	kt CO2e	0	3 915	1 301	616	552	499	456	420	391	366	345	328	312	300	289	279	271	264	0
Nouveau	kt CO2e	0	3 915	1 301	616	552	499	456	420	391	366	345	328	312	300	289	279	271	264	258
Différence	kt CO2e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+258
	%	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-

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

Description des recalculs

Pas de recalcul.

6.11.6 Améliorations envisagées

Pas d'amélioration envisagée.

7 DECHETS (CRF 5)

7.1 Présentation générale du secteur

Déchets solides

Les différents procédés de traitement des déchets mis en œuvre engendrent des rejets parfois significatifs de polluants comme le CH₄ 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 (SDES²⁴) 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 215 : Production de déchets en France métropolitaine 2016 - 2018 (source : SDES)

En milliers de tonnes

	Agriculture pêche		Industrie		Construction		Traitement déchets eau assainissement		Tertiaire		Ménages		Total	
	2016	2018	2016	2018	2016	2018	2016	2018	2016	2018	2016	2018	2016	2018
Déchets minéraux non dangereux	0	0	4 243	4 338	209 229	224 162	3 156	3 382	792	806	2 806	2 857	220 227	235 544
Déchets non minéraux non dangereux	967	979	17 591	18 183	12 351	13 073	17 151	20 058	17 864	17 486	25 524	25 886	91 448	95 665
Déchets dangereux	337	331	2 791	2 880	2 775	2 972	3 417	3 652	965	1 221	725	1 042	11 010	12 098
Total	1 304	1 310	24 626	25 402	224 355	240 207	23 724	27 091	19 621	19 513	29 056	29 785	322 685	343 307
Évolution 2016/2018 en %	0,5		3,1		7,1		14,2		- 0,6		2,5		6,4	
Total hors déchets secondaires	1 304	1 310	24 410	25 100	224 354	240 206	12 578	15 256	19 605	19 491	29 056	29 785	311 306	331 146

Source : SDES, décembre 2020

Tableau 216 : Traitement de déchets en France métropolitaine 2016 - 2018 (source : SDES)

En milliers de tonnes

	Incineration avec récupération d'énergie		Incineration sans récupération d'énergie		Recyclage matière et organique		Stockage		Épandage		Total	
	2016	2018	2016	2018	2016	2018	2016	2018	2016	2018	2016	2018
Déchets minéraux	4	4	1	1	158 504	172 747	61 718	62 792	0	0	220 227	235 544
Déchets non minéraux non dangereux	16 329	16 698	3 461	2 565	37 594	39 302	18 149	20 929	627	728	76 160	80 222
Déchets dangereux	1 098	1 110	1 514	1 778	2 230	3 349	2 322	3 285	0	0	7 165	9 522
Total	17 432	17 812	4 977	4 344	198 327	215 398	82 189	87 006	627	728	303 552	325 288

Source : SDES, décembre 2020

Les quantités traitées en 2016 (303,5 millions de tonnes) sont inférieures de 5,9% aux quantités produites (contre 5,2% en 2018). Cette différence récurrente a plusieurs causes d'après le SDES : solde des exportations et des importations, effets de stock, détermination en poids sec ou humide

²⁴ SDES : Service de la Données et des Etudes Statistiques (ex : SOES) (Service statistique des ministères en charge des transports et de l'environnement)

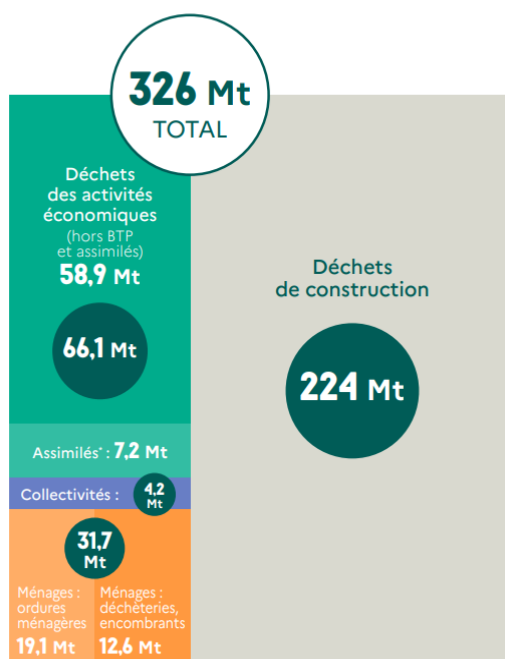
des déchets, mais également imprécision de la mesure (quantités évaluées en poids, parfois en volume) [978].

En raison du poids du secteur de la construction en France, les déchets minéraux représentent plus des 2/3 des déchets produits : 224 millions de tonnes en 2016 et 240 millions de tonnes en 2018. 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'ADEME²⁵ réalise une enquête tous les 2 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 2020 et traite des déchets ménagers traités en 2018. L'ADEME réalise également tous les 2 ans une enquête sur la collecte des déchets (publique, organisée par les entreprises et les filières REP²⁶), dite enquête COLLECTE.

La dernière synthèse réalisée en 2019 par l'ADEME sur les quantités de déchets produits concerne l'année 2016. Elle s'appuie sur les enquêtes ITOM et COLLECTE et sur le bilan du SDES.

Tableau 217 : Production de déchets en France (périmètre Kyoto) en 2017 (Source : ADEME)



* Déchets des activités économiques (DAE) collectés par le service public

Source : RSD 2016, ADEME – Enquête Collecte 2017, estimations IN NUMERI

Les données de la figure 5 ont été actualisées par rapport au RSD pour tenir compte des résultats de l'enquête Collecte

Les DAE, 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...).

²⁵ ADEME : Agence de la Transition Ecologique (établissement public national sous tutelle du ministère français en charge de l'environnement)

²⁶ REP : Responsabilité Elargie des Producteurs (collecte séparée d'une vingtaine de types de déchets : emballages, piles et accumulateurs, papier, textiles, ameublement, gaz fluorés, automobiles ...)

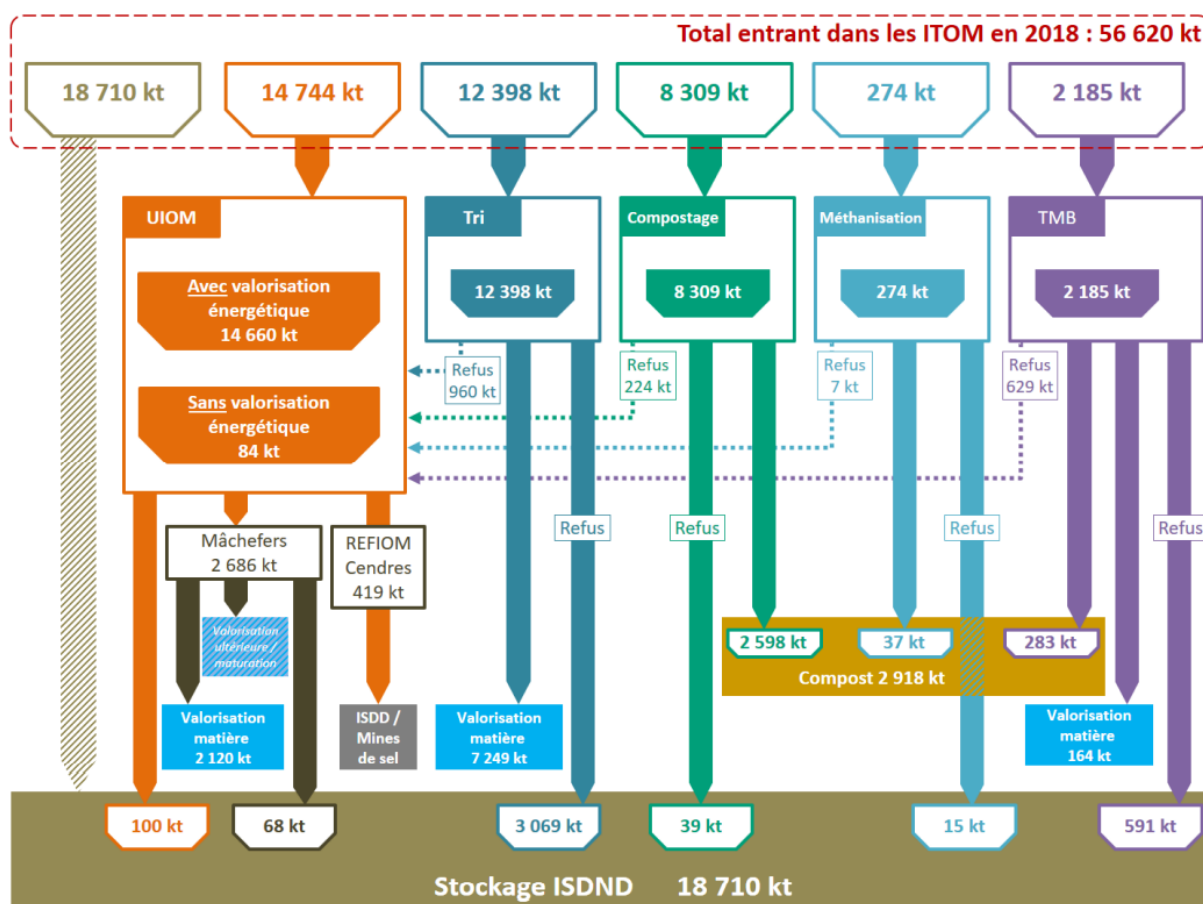
Les DMA englobent les déchets des collectivités, les déchets des ménages et une partie des déchets non dangereux des entreprises collectés selon les mêmes modes que les deux types de déchets précédents.

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 2018 :

- Stockage en ISDND (205 sites)
- Incinération avec et sans récupération d'énergie (121 sites)
- Compostage (657 sites)
- Méthanisation (13 sites)
- Compostage ou méthanisation avec Tri mécano biologiques (TMB) en amont (50 sites)
- Tri de DMA (408 sites)

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 178 : Bilan des tonnages entrant dans les ITOM en 2018 (source : ITOM 2018, ADEME)



Les déchets non traités en ITOM (environ 35 Mt en 2018) sont par ailleurs traités dans des installations dédiées, notamment :

- Selon l'ADEME, 14,5 Mt ont été exportés vers l'étranger après leur collecte (principalement vers l'Espagne (23 %), la Belgique (23 %) et l'Allemagne (11 %) ;
- Environ 6 Mt de déchets dangereux (DD) sont traitée hors des ITOM. Selon le panorama de l'observatoire des déchets dangereux du SYPRED [737], les autres filières de traitement des

déchets dangereux sont l'incinération en sites spécifiques, incinération in-situ, la co-incinération, le stockage après inertage, les traitements physico-chimiques et l'évapo-concentration, la décontamination, la régénération et la valorisation ;

- Environ 5 Mt de déchets non dangereux co-incinérés d'après le registre national des émissions polluantes (pour la production de chaux et de ciment notamment) [19].
- Environ 3,6 Mt de déchets sont triés et recyclés dans des centres de tri réservés aux Déchets Non Dangereux des Activités Economiques (DNDAE) (167 centres en 2018) ;
- Environ 2 Mt de boues de dragage sont immergées en mer ;
- Près de 2 Mt de déchets agricoles sont traités dans des centres de méthanisation dédiés aux déchets agricoles (à la ferme ou centralisés) ;
- Environ 1,2 Mt de véhicules hors d'usage et de pneumatiques font l'objet d'une filière REP²⁷ et sont collectés et recyclés sur des sites dédiés ;
- Environ 1 Mt de boues d'épuration sont traitée hors des ITOM. Ces boues sont soit méthanisées sur site, soit épandues, soit envoyées sur les centres de méthanisation centralisés (hors ITOM).

En France, les déchets (DMA et DAE hors inertes) sont donc éliminés au travers des filières de traitement suivantes :

- **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 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.

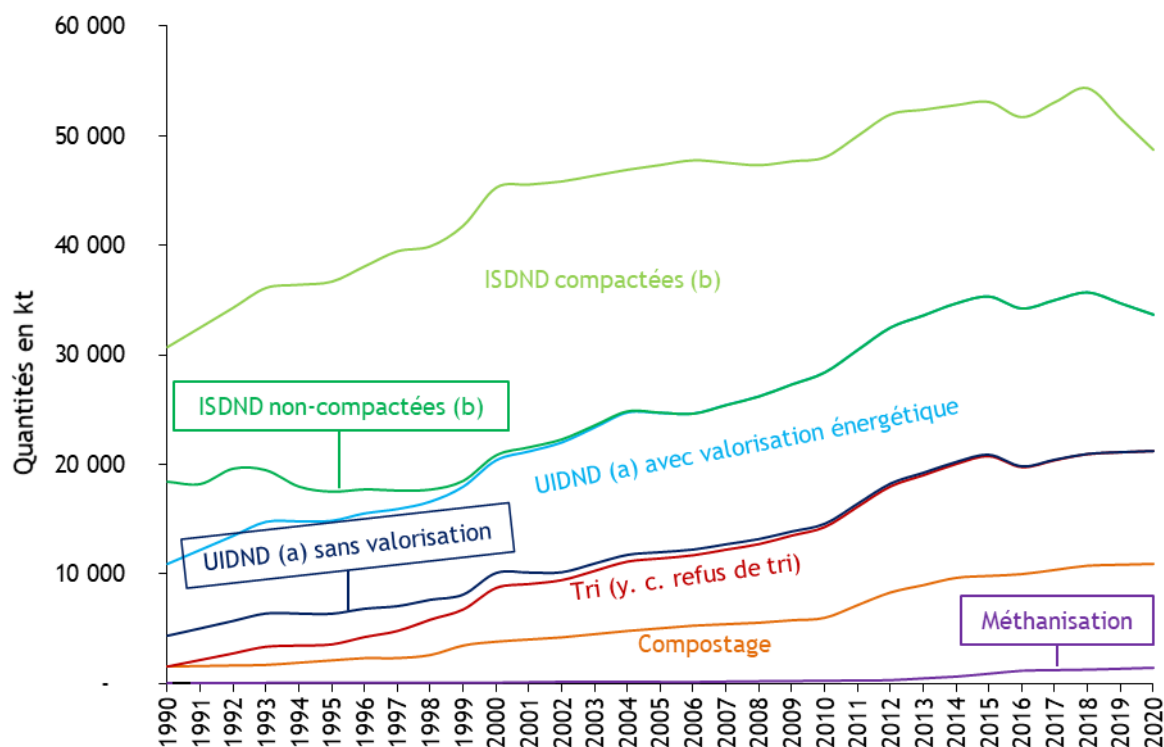
Dans le cadre de l'inventaire national d'émissions, l'ADEME intervient principalement en tant que fournisseur de données privilégié, au travers de la publication régulière des résultats des travaux et enquêtes qu'elle finance.

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.

²⁷ REP : à Responsabilité Elargie du Producteur

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 moins de 35% de nos jours. La part de l'incinération est restée relativement stable autour de 30%, sur la période l'incinération sans récupération d'énergie disparaissant peu à peu au profit de l'incinération avec récupération d'énergie. La part des procédés biologiques, en particulier du compostage, augmente régulièrement et est maintenant proche de 20%.

Figure 179 : Evolution des quantités de DMA* traitées par filière de traitement en kt - périmètre Kyoto



(a) UIDND = Usine d'Incinération de Déchets Non Dangereux

(*) DMA = déchets ménagers et assimilés

(b) ISDND = Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux

Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

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 CH₄ en France avec plus de 28% des émissions nationales hors UTCATF en 2020. Il participe également aux émissions de CO₂ et de N₂O à hauteur de 0,6% et 1,6% en 2020. 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 » (CRF 1) et que les émissions de CO₂ d'origine biomasse sont hors total.

Tableau 218 : Émissions de gaz à effet de serre des DECHETS (CRF 5)

DECHETS (périmètre Kyoto)			Secteurs-d.xlsx	
Polluants	1990		2020	
	Emissions en CO ₂ eq (kt)	% du total national hors UTCATF	Emissions en CO ₂ eq (kt)	% du total national hors UTCATF
CO ₂	2 194	0,6%	1 603	0,6%
CH ₄	14 318	20,7%	15 458	28,3%
N ₂ O	771	1,2%	597	1,6%
HFC	0	0,0%	0	0,0%
PFC	0	0,0%	0	0,0%
SF ₆	0	0,0%	0	0,0%
NF ₃	0	0,0%	0	0,0%
CO ₂ e	17 283	3,2%	17 658	4,5%

Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

7.2 Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) (5A)

7.2.1 Caractéristiques de la catégorie

Tableau 219 : Substances pour lesquelles le secteur 5A est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
5A	CH ₄	8 ^{ème}	3,04%	19 ^{ème}	1,44%

Les ISDND sont utilisées pour le stockage des déchets non dangereux (déchets ménagers, déchets industriels banals, boues d'épuration, etc.). En métropole et dans les territoires d'outre-mer inclus dans l'UE, les ISDND sont de type gérées compactées et gérées non compactées. Dans les territoires d'outre-mer non inclus dans l'UE, des sites de stockage non gérés sont également considérés.

Au début des années 90, la France (métropole et territoires d'outre-mer inclus dans l'UE) comptait près de 500 ISDND de plus de 3 000 tonnes/an en exploitation, dont environ 315 de type compacté (recevant plus de 80% des déchets stockés) [516]. L'ADEME²⁸ comptabilisait, en 2018, 205 installations en exploitation, toutes de type compacté.

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.

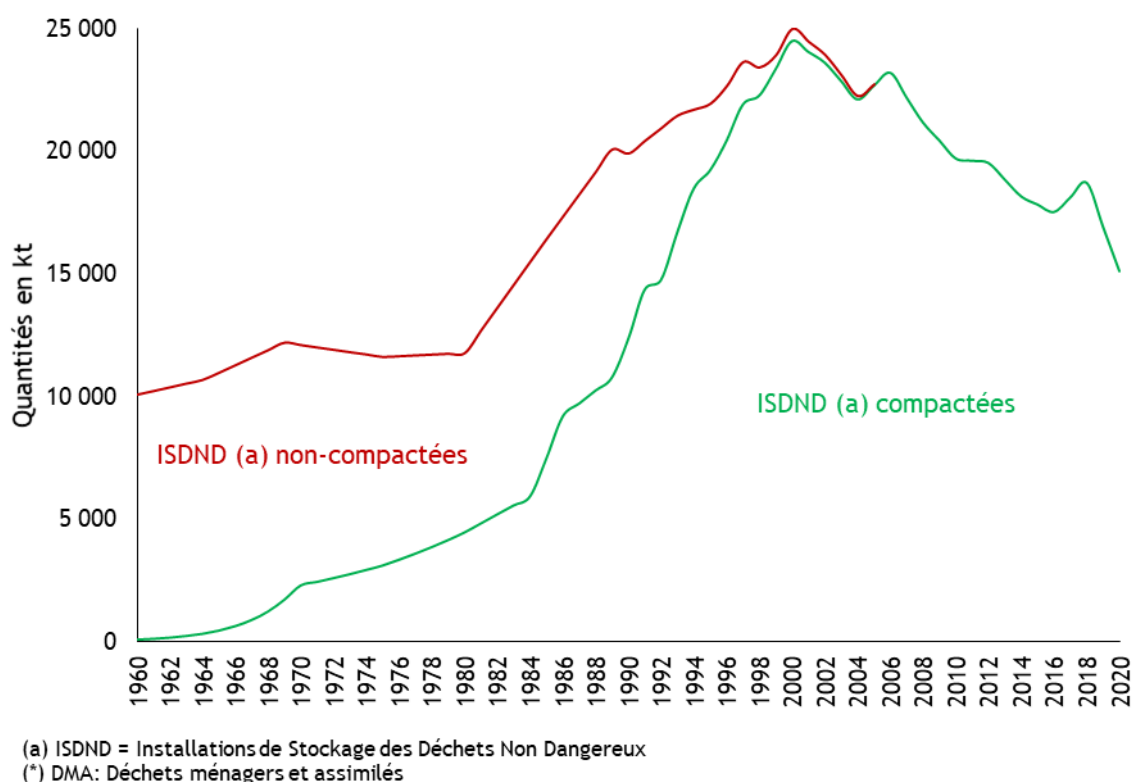
²⁸ ADEME : Agence De la Transition Ecologique (établissement public national sous la tutelle du ministère de l'environnement)

Les données sur les quantités de déchets non dangereux stockés sont disponibles au travers d'enquêtes menées a minima tous les 2 ans par l'ADEME auprès des ISDND [32]. La dernière édition de cette enquête a été publiée en 2020 et traite des déchets ménagers traités en 2018. 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 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 2 ans.

Figure 180 : Evolution des quantités de déchets non dangereux stockés en ISDND en kt en France (périmètre Kyoto)



Source CITEPA / format CCNUCC- mars 2022

Graph_5.xlsx/ISDND

Type gestion des ISDND

En France, au cours du temps on peut distinguer 3 principaux types de gestion des décharges : les décharges non contrôlées, les décharges contrôlées non compactées et les décharges contrôlées compactées.

Les décharges non contrôlées (unmanaged SWDS) :

Les décharges non contrôlées, aussi appelées « décharges brutes » ou « décharges sauvages » correspondent à un déversement de déchets sur le sol, dans une cavité, un ravin ou dans tout autre dépression de terrain. En France, c'était l'unique type de décharge jusqu'en 1935 (date d'ouverture de la première décharge dite « contrôlée »). En 1973, la circulaire du 22/02/1973 en a planifié la

disparition progressive. On considère que l'apport de déchets dans ce type de décharges a définitivement cessé en 2005.

Les décharges contrôlées (managed) :

La décharge dite « contrôlée » est un mode de gestion introduit en France depuis l'Angleterre en 1935 pour limiter les multiples nuisances des décharges brutes. La gestion consistait à prendre quelques précautions élémentaires pour limiter les proliférations d'animaux (mouches, rats...) et de germes pathogènes. A l'origine, le but de ces pratiques de gestion était de favoriser la fermentation aérobie des déchets mais peu à peu les pratiques ont changé vers une gestion anaérobie en raison des pratiques de compaction des déchets. La circulaire de 1973 [949] spécifie alors 3 types de décharges contrôlées : la décharge contrôlée non compactée (avec l'introduction du terme « décharge traditionnelle »), la décharge contrôlée compactée et la décharge simplifiée (décharge temporaire non considérée ci-après).

➤ La décharge contrôlée non compactée (ou « décharges traditionnelles »)

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...).

➤ 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'INSTALLATIONS DE STOCKAGE			CATEGORIE IPCC	MCF	OX	Explications	1934	i	1968	1969	1970	1980	1990	2000	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Type de gestion	Status	Couverture																					
Contrôlé	Contrôlé - Compacté	En activité	Oui	Managed - anaerobic	1	0,1	La réglementation nationale prévoit un captage à l'avancement et la couverture après comblement des casiers.			10	19	22	224	229	235	234	233	231	221	220	218	213	205
	Contrôlé - Compacté	Post-exploitation	Oui	Managed - anaerobic	1	0,1																	
	Contrôlé - Non compacté	En activité	Non	Managed - semi-aerobic	0,5	0	Ces décharges devaient être gérées en assurant une aération passive (limitation de l'épaisseur des couches de déchets et dépôt suivant après montée en température)	1	9	12	15	197	154	155									
	Contrôlé - Non compacté	Post-exploitation	Oui	Managed - semi-aerobic	0,5	0,1																	
Non contrôlé	Non contrôlé	En activité	Non	Uncategorised	0,4	0	Nombreuses décharges sauvages de petites tailles (cas de l'Outremer)	2005	2000	2000	2000	2000	2000	2000									
	Non contrôlé	Post-exploitation	Non	Uncategorised	0,4	0																	

Noir : valeurs disponibles dans des enquêtes (ASTEE, ADEME)
Gris : Valeurs estimées

Graph_5.xlsx/Historique_Stockage

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/fr/omineia>

Les déchets mettent plusieurs années à se décomposer, essentiellement en CH₄ et CO₂, et en faible proportion d'autres polluants (COVNM, H₂S...).

Une loi cinétique d'ordre 1 est utilisée pour calculer les quantités de CH₄ et de CO₂ 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 CO₂

Le CO₂ 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 CO₂ des ISDND dans les formats de rapport CRF (catégorie 5A).

Les émissions de CO₂ biogéniques sont comptabilisées sur la base des quantités générées et des quantités de CH₄ non captées oxydées en CO₂ lors de la traversée de la couverture.

Emissions de CH₄

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 inclus dans l'UE uniquement).

$$EM_{CH_4} = EM_{CH_4_contrôlé_compacté} + EM_{CH_4_contrôlé_non_compacté} + EM_{CH_4_non_contrôlé}$$

Les émissions de CH₄ sont estimées selon la méthodologie préconisée dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC.

L'outil mis à disposition par le GIEC (IPCC 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 reportage de la CCNUCC :
 - chaque territoire dispose de ses propres feuilles de calcul (métropole, territoires d'outre-mer inclus dans l'UE, territoires d'outre-mer non inclus dans l'UE) avec un paramétrage adapté à la zone climatique,
 - chaque type de site dispose de ses propres feuilles de calcul (contrôlé compacté, contrôlé non compacté, non contrôlé).

Le calcul des émissions se fait donc au sein d'un « système de calcul » composé :

- De fichiers contenant les données d'entrée par territoire (quantités, composition)
- De 7 feuilles de calculs (copies de l'IPCC Waste Tool [731]) correspondant aux usages suivants :
 - 1 dédiée aux ISDND contrôlées compactées de métropole
 - 1 dédiée aux ISDND contrôlées non compactées de métropole
 - 1 dédiée aux ISDND contrôlées compactées des territoires d'OM inclus dans l'UE
 - 1 dédiée aux ISDND contrôlées non compactées des territoires d'OM inclus dans l'UE
 - 1 dédiée aux ISDND contrôlées compactées des territoires d'OM non inclus dans l'UE
 - 1 dédiée aux ISDND contrôlées non compactées des territoires d'OM non inclus dans l'UE
 - 1 dédiée aux décharges non contrôlées des territoires d'OM non inclus dans l'UE
- D'un fichier de compilation et d'export vers la base de données d'inventaire nationale.

Quantités traitées :

Les données sur les quantités de déchets non dangereux stockés sont essentiellement disponibles au travers d'enquêtes menées par l'ADEME auprès des ISDND (dites ITOM [32]). Ces données permettent de remonter à 1960 sur la base d'estimations effectuées par l'ADEME et de distinguer les quantités stockées en métropole des quantités stockées dans les territoires inclus dans l'UE. 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'enquête. 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).

La répartition des quantités stockées annuellement par type d'installation de stockage est issue de données historiques de l'ADEME.

Composition des déchets :

L'IPCC Waste Tool considère les catégories de déchets suivantes des lignes directrices 2006 du GIEC (Volume 5, Chapitre 2) : 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 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, qui sont ensuite allouées aux catégories des déchets de l'IPCC. 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 de l'IPCC 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.

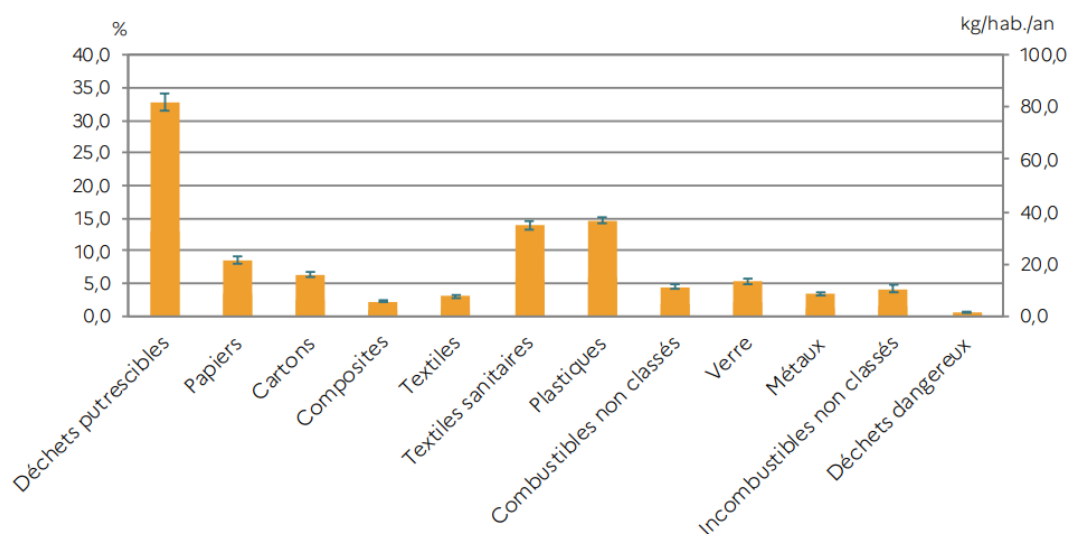
Ces enquêtes successives présentent l'évolution de la production d'ordures ménagères entre 1993, 2007 et 2017.

Tableau 220 : Composition des ordures ménagères entre 1993 et 2007

CATÉGORIES Données en %	Ordures ménagères résiduelles (OMR)				Gisement après intégration des collectes sélectives	
	OMR (sans ventilation des éléments fins)		Intervalle de confiance	OMR (avec ventilation des éléments fins)		OMR et collectes sélectives (avec ventilation des éléments fins)
	1993	2007		1993	2007	
Déchets putrescibles	20 %	30,9 %	3,8 %	30 %	39,6 %	28,6 %
Papiers	16 %	10,3 %	1,1 %	16 %	10,5 %	16,1 %
Cartons	10 %	5,7 %	0,5 %	10 %	5,7 %	9,3 %
Composites	1 %	1,7 %	0,3 %	1 %	1,7 %	1,4 %
Textiles	3 %	2,3 %	0,5 %	3 %	2,3 %	2,6 %
Textiles sanitaires	3 %	10,5 %	1,1 %	3 %	10,6 %	3,1 %
Plastiques	11 %	11,4 %	0,6 %	12 %	11,7 %	11,1 %
Combustibles NC	3 %	2,4 %	0,5 %	3 %	2,6 %	3,3 %
Verre	7 %	5,8 %	0,7 %	10 %	6,3 %	13,1 %
Métaux	4 %	2,9 %	0,3 %	4 %	3,0 %	4,1 %
Incombustibles NC	2 %	2,6 %	0,6 %	7 %	5,3 %	6,8 %
Déchets dangereux	1 %	0,8 %	0,3 %	1 %	0,8 %	0,5 %
Éléments fins < 20 mm	19 %	12,7 %	0,9 %	0 %	0,0 %	0,0 %
TOTAL	100 %	100 %		100 %	100 %	100 %

Source : ADEME, MODECOM 2007

Figure 181 : Composition des ordures ménagères en 2017



Source : ADEME, MODECOM 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 221 : 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 222 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 2007

			GIEC										
MODECOM 2007			Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Rubber and Leather	Plastics, other inert	Sludge	Hazardous waste	Construction and demolition
ADEME	Déchets fortement évolutifs	Déchets verts		100,0%									
		OM	33,6%	6,0%	17,9%	2,6%	2,3%	10,6%		27,0%			
		Boues									100,0%		
		Déchets organiques		100,0%									
	Déchets moyennement évolutifs	DIB			12,6%	10,8%	1,9%		13,1%	61,6%			
		DMA	33,6%	6,0%	17,9%	2,6%	2,3%	10,6%		27,0%			
		Compost		100,0%									
		Résidus de traitement	33,6%	6,0%	17,9%	2,6%	2,3%	10,6%		27,0%			
	Déchets non évolutifs	Equipement hors d'usage									100,0%		
		Déblais -gravats											100,0%
Matériaux recyclables										100,0%			
DS/Déchets dangereux												100,0%	
	Machefers									100,0%			

Tableau 223 : Matrice de passage entre les catégories ADEME et les catégories GIEC en 2017

			GIEC										
MODECOM 2017			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	26,5%	6,3%	17,3%	4,6%	3,0%	13,9%		28,4%			
		Boues									100,0%		
		Déchets organiques		100,0%									
	Déchets moyennement évolutifs	DIB			7,0%	7,1%	6,4%		11,4%	68,1%			
		DMA	26,5%	6,3%	17,3%	4,6%	3,0%	13,9%		28,4%			
		Compost		100,0%									
		Résidus de traitement	26,5%	6,3%	17,3%	4,6%	3,0%	13,9%		28,4%			
	Déchets non évolutifs	Equipement hors d'usage								100,0%			
		Déblais -gravats											100,0%
	Matériaux recyclables								100,0%				
	DS/Déchets dangereux										100,0%		
		Maçhefers								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 2 à 4 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 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 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 Degradable (COD) 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 224 : Composition des déchets stockés en installation de stockage recevant des déchets ménagers (y.c. déchets industriels, hors boues) en Métropole

Année	Déchets alimentaires (%)	Déchets verts (%)	Papier/carton*	Bois (%)	Textile (%)	Textile sanitaire (%)	Plastiques et autres inertes (%)	
							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%	14,3%	4,0%	3,3%	6,3%	54,2%	26,0%
2014	14,3%	3,5%	13,8%	3,9%	3,2%	6,4%	54,9%	25,5%
2015	13,6%	3,3%	13,9%	4,1%	3,3%	6,5%	55,3%	25,7%
2016	13,0%	3,2%	13,9%	4,3%	3,4%	6,5%	55,7%	25,8%
2017	14,2%	3,6%	13,8%	4,2%	3,2%	7,4%	53,7%	22,7%
2018	15,1%	3,9%	13,6%	4,2%	3,0%	8,3%	52,0%	20,0%
2019	14,4%	4,1%	14,9%	4,0%	3,0%	8,7%	50,9%	26,0%
2020	13,6%	4,4%	16,4%	3,8%	3,0%	9,2%	49,7%	26,1%

* et cuir et caoutchouc

Graph_5.xlsx/Composition_stockage

Zone climatique :

Pour la métropole, la zone climatique « tempérée humide » a été retenue.

Pour tous les territoires d'OM, la zone climatique « tropicale humide » a été retenue car elle correspond à la situation des territoires les plus peuplés (St Pierre et Miquelon, seul territoire situé en dehors d'une zone tropicale humide, ne représente que 0,2% de la population d'Outre-Mer).

Constantes de vitesse (k) :

Les constantes de vitesse proposées par défaut par les lignes directrices 2006 du GIEC (et reprises dans l'IPCC 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 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) :

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 (DOCf) :

La fraction de carbone organique dégradable se décomposant (DOCf) de 0,5 recommandée par défaut dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC est appliquée.

Facteurs de correction du méthane (MCF) :

Les facteurs de correction du méthane (MCF) proposés par défaut dans les lignes directrices 2006 [607] ont été attribués aux 3 types d'installation de stockage existant en France.

Les ISDND contrôlées non compactées correspondent aux décharges anaérobies (MCF = 1) définies dans les 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) des Lignes Directrices 2006 du GIEC.

Les décharges non contrôlées d'Outre-mer sont considérées avec un MCF de 0,4. Les décharges non contrôlées existaient historiquement en Métropole. Cependant, ne pouvant pas les distinguer des décharges contrôlées non compactées, elles sont considérées dans une même catégorie.

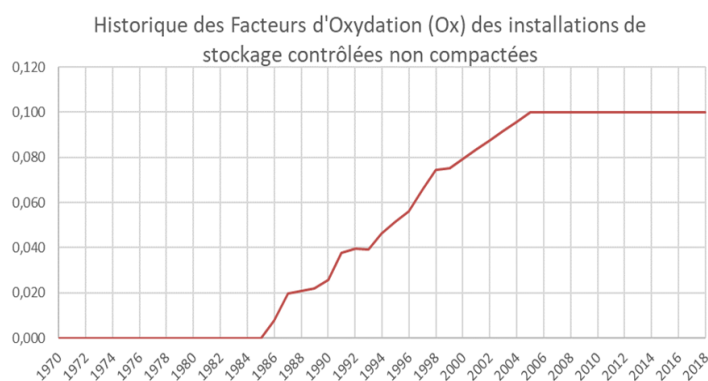
Facteur d'oxydation (Ox)

Le facteur d'oxydation (Ox) de 0,1 recommandé par défaut dans les 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 225 : Historique du facteur d'oxydation des sites contrôlés non compactés

Année	Ox	Année	Ox	Année	Ox
1970	-	1986	0,008	2002	0,088
1971	-	1987	0,020	2003	0,092
1972	-	1988	0,021	2004	0,096
1973	-	1989	0,022	2005	0,100
1974	-	1990	0,026	2006	0,100
1975	-	1991	0,038	2007	0,100
1976	-	1992	0,040	2008	0,100
1977	-	1993	0,039	2009	0,100
1978	-	1994	0,046	2010	0,100
1979	-	1995	0,052	2011	0,100
1980	-	1996	0,056	2012	0,100
1981	-	1997	0,066	2013	0,100
1982	-	1998	0,075	2014	0,100
1983	-	1999	0,075	2015	0,100
1984	-	2000	0,079	2016	0,100
1985	-	2001	0,084	Après 2016	0,100



Source : Citepa, Graph _5i.xls/Historique_Stockage

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 CH₄ dans le biogaz capté (F)

La fraction de CH₄ dans le biogaz généré (F) de 0,5 recommandée par défaut dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC est appliquée.

CH₄ capté :

Le biogaz capté est, soit torché, soit valorisé, soit mis sur le réseau de gaz naturel.

A des fins de rapportage des émissions nationales de GES dans le cadre du Protocole de Kyoto, 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 CH₄ torché et/ou valorisé sur leur site. Des informations sur la méthodologie d'estimation des quantités sont également à déclarer par les exploitants d'ISDND, notamment la fréquence des mesures des différents paramètres (débits, teneur en CH₄) utilisés pour estimer les flux annuels de CH₄ torché et valorisés. Les quantités de CH₄ 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 CH₄ 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 CH₄ torché et/ou valorisé sur leur site peuvent être renseignées par le biais d'une méthode calculatoire ou par mesures. Afin de répondre au mieux aux exigences QA/QC prescrites dans les lignes directrices du GIEC, un dialogue avec les responsables des sites a été engagé afin de s'assurer que les éléments déclarés sont fiables.

La France a initié cette démarche (dialogue avec les responsables de sites) à l'hiver 2021. Les SWDS déclarant le débit et/ou de la teneur en CH₄ du biogaz valorisé/torché par « calcul » ont été contactés (103 sites). En fait, dans la plupart des cas, 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 ». Pour une quinzaine de sites, les échanges se poursuivent.

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 N₂O

Il n'y a pas d'émission attendue de cette substance.

7.2.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

L'analyse complète des incertitudes est présentée à l'annexe 6. Une description de la méthodologie appliquée par tier 1 selon les lignes directrices du GIEC est incluse dans la section 1.6 Evaluation des incertitudes.

L'analyse de l'incertitude est effectuée à un niveau tel de désagrégation que les incertitudes des activités et des facteurs d'émission peuvent être considérées comme indépendantes (dans la plupart des cas). Dans ce cas, l'analyse des incertitudes du secteur est effectuée au 2^{ème} niveau de la catégorie (i.e. 5A).

Les incertitudes estimées pour le secteur 5A sont les suivantes pour 2019 :

- L'incertitude sur les quantités stockées 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 2019 sont basées sur les données 2018 provisoires.
- 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 IPCC et des études complémentaires périodiques doivent être utilisées en complément.
- L'incertitude sur le facteur d'émission du CH₄ 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 où 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 est mis en place, 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 CRF 5A

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO ₂ e	12 563	14 914	15 995	16 423	16 344	16 339	16 285	15 659	15 635	15 104	14 415	14 289	13 685	12 660	12 608	12 700	12 463	12 734
Nouveau	kt CO ₂ e	12 563	14 914	15 996	16 425	16 346	16 341	16 277	15 637	15 588	15 026	14 302	14 139	13 501	12 443	12 363	12 431	12 155	12 372
Différence	kt CO ₂ e	+0,027	+0,21	+0,88	+1,4	+1,5	+1,5	-8,3	-23	-47	-78	-113	-150	-184	-217	-245	-269	-308	-362
	%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	-0%	-0%	-0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-2%	-2%	-2%	-2%	-3%

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

Description des recalculs

- Prise en compte d'une nouvelle enquête de caractérisation des déchets (MODECOM 2017) qui contribue à une modification du COD et des émissions entre 2008 et 2019.
- Correction d'une erreur minime sur l'enquête de caractérisation des déchets de 2007 (MODECOM 2007) qui contribue à une modification du COD et des émissions sur la période 1990 - 2007.

- Correction des estimations des quantités de méthane capté (torché ou valorisé) sur la période 2008 - 2019.

Raison et justification

Amélioration de l'exactitude

7.2.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
Waste	5. General (waste) - CH ₄ (W.2, 2019) (W.13, 2017) Transparency	Include in chapter 7.1 of the NIR an overview of all wastes generated and the extent to which it is recycled, incinerated, landfilled or treated otherwise (including waste types specified in the 2006 IPCC Guidelines, volume 5, chapter 3, paragraph 3.5 and ensuring the inclusion of wastes that are considered inert).	The Party reported in its NIR (p.670, Table 203) total waste generation in France. In 2016 in total 326 Mton of waste is generated. Figure 169 (p. 671) specifies waste treatment in 2016 and Figure 170 (p. 672) the development in waste treatment. However, Figure 169 only refers to 53.1 Mton waste treated in Household Waste Treatment Facilities (ITOM) and Figure 170 refers to about 30-55 Mton of waste per year, characterized as DMA (household and similar waste). Large part of the difference between waste generation in Table 203 and waste treatment in Figure 169 and 170 can be explained by waste from the construction sector. This waste is classified as mineral waste (waste 40 in the statistical nomenclature of waste), other non-hazardous minerals (waste 42) and land (waste 46). During previous reviews, the Party explained that the waste can be considered to be inert material and therefore it produces no CH ₄ emissions. This issue does not challenge that assumption. This issue is about the gap between	2021 Review PMF* / W.2	Still not implemented

			<p>total waste generation in France (326 Mton of waste in 2016) and the amount of waste, treated in ITOM (53.1 Mton of waste), which is not entirely explained by waste from the construction sector (224 Mton).</p> <p>In response to a query from the 2019 ERT about including an overview of all wastes generated and the extent to which they are recycled, incinerated, landfilled or otherwise treated, the Party explained that it is not possible to include an overview such as the one specified in the 2006 IPCC Guidelines (vol. 5, para. 3.5) as neither the French Statistical Office nor ADEME publishes the required information.</p> <p>The ERT acknowledges the Party's response, but notes that implementing the previous recommendation is essential to enable France to demonstrate that all waste generated is appropriately considered in the annual GHG inventory. The ERT reiterates that the waste flows in France should be considered further in the next in-country review.</p>		
--	--	--	---	--	--

Waste	5.A Solid waste disposal on land - CH4 (W.3, 2019), (W.2, 2017) (W.10, 2016) (W.10, 2015) (117, 2014) (105, 2013) Transparency	Provide more information on the waste composition allocation to the degradation categories used for the estimation for all years of the time series by adding a table to the NIR that explains how the ITOM categories are matched to the degradation categories used for the estimation and provide another table that shows the share of these degradation categories in relation to the total waste landfilled for all years of the time series.	The Party reported in its NIR (p.681, table 207) an overview of waste composition for the years 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 1995, 2000, 2005 and 2010-2017. However, the Party not explain how the ITOM categories are matched to the degradation categories used for the estimation of emissions. During the 2019 review, the Party explained that the ADEME survey contains more than 100 waste categories, which is too many to incorporate into NIR tables. During the 2021 review, the Party indicated that some information will be implemented next year concerning allocation between ITOM categories and IPCC categories. The ERT reiterates that the waste composition in France should be considered further in the next in-country review.	2021 Review PMF* / W.3	Implemented. France presented in its NIR 2022 submission, a simplified transition matrix between the ADEME waste categories and those of the IPCC.
Waste	5.A.1 Managed waste disposal sites - CH4 Transparency	The Party reported in its NIR (p. 682) their procedure to quantify methane recovery via the GERE platform, without specific information on how individual SWDS determine that data. During the review the Party indicated that SWDS operators must declare the method used to determine recovery: measurement, calculation or estimate. In the French inventory, only the quantities of methane measured and calculated are considered. In the 2019 CRF Table 5A, 43 per cent of the CH4 flared and 42 per cent of the CH4 utilised are based on calculations. The ERT noted that it is unclear how	The ERT recommends improving overall QA/QC of methane recovery from SWDS, to ensure that the requirements on quantification of energy recovery in the IPCC Guidelines (Vol 5, chapter 6, p. 3.19) are met and to report on the QA/QC improvements implemented in its next submissions. The ERT also recommends the Party to perform short-term consolidation/improvement activities for the next submission of the NIR: • investigation works by contacting the SWDS declaring the recovery of biogas in order to consolidate the data declared on the GERE platform: • SWDS by SWDS clarifying what is the	2021 Review PMF* / W.18	Implemented. France initiated this process a few months ago in winter 2021. The SWDS declaring calculation approach for the flow and / or the CH4 content of the recovered / flared biogas were contacted (with the ministry in copy of the emails). In all feedbacks, the "calculation" declarations corresponded in fact to average calculations of measurements. We will continue the investigation for the only 15 plants that did not yet provide feedback. France reports on this investigation for transparency issue in the NIR submissions 2022. At the same time, an exchange with the related professionals in this sector was initiated, in particular to best declare emissions and recoveries on the national plant emissions register.

		individual SWDS calculate methane recovery and what assumptions are made in order to do so. The 2006 IPCC Guidelines (Vol 5, chapter 6, p. 3.19) indicate that methane recovery should be based on metering of all gas recovered for energy and flaring or monitoring of the produced amount of electricity from the gas. Estimating the amount of CH ₄ recovered using more indirect methods should be done with great care, using substantiated assumptions.	"calculation" method and so getting documentation on these calculation methods; • identifying SWDS where the calculation approach is not based on relevant methods to remove their recovery from the national inventory or justifying its inclusion demonstrating the great care applied, by substantiated assumptions The ERT recommends the Party to report in its next submission the progress made on these short-term activities, e.g. a list of SWDS, whose methane recovery is reported to be calculated, along with its calculation method and a motivated decision by the inventory team, why the calculated recovery is included in the quantification of methane recovery at SWDS. This list can be a confidential Annex to the NIR but made available for review with proper confidentiality arrangements (see also the 2006 IPCC-Guidelines, Vol 5, chapter 6, p. 3.28, that indicates that if CH ₄ recovery is reported, an inventory of known recovery facilities is desirable).		
Waste	5.A.1 Managed waste disposal sites - CH ₄ Transparency	The Party reported in its NIR (p. 682) their procedure to quantify methane recovery. The ERT noted that Eurostat data on energy generation from landfill gas might be used to validate the reported amount of gas used for energy recovery from the CRF-tables. A first comparison of both resulted a fair agreement : see Table: CH ₄ energy recovery from CRF-Tables, compared to Eurostat.	The ERT recommends the Party to evaluate whether a comparison of CRF and Eurostat data (or another independent data-source) can be used to verify CH₄ for energy recovery and to report on the outcome of the evaluation and how this evaluation explains the difference between CRF data and Eurostat data in its next submission. Such an evaluation should also serve to explain a difference between both.	2021 Review PMF* / W.19	Ongoing Improvement. A discussion with the services of the Ministry concerned will be initiated.

7.2.7 Améliorations envisagées

L'amélioration de la prise en compte des quantités de biogaz valorisé et/ou torché est planifiée. La prise de contact avec les exploitants des sites de stockage déclarant leurs émissions sur la plateforme de rapportage des émissions (GEREP) permettra de consolider les données considérées dans l'inventaire.

L'amélioration du calcul des incertitudes est planifiée à long terme par la mise en œuvre d'une méthodologie Tier 2 (approche Monte Carlo).

7.3 Traitement biologique (5B)

7.3.1 Caractéristiques de la catégorie

Cette section se rapporte aux installations de **compostage** de déchets ménagers et aux installations de **méthanisation** de déchets ménagers.

Tableau 226 : Substances pour lesquelles le secteur 5B est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
5B	CH ₄	41 ^{ème}	0,29%	39 ^{ème}	0,47%

7.3.1.1 Production de compost (5B1)

Le compostage consiste en un traitement biologique de matières organiques fermentescibles en milieu aérobie. 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).

7.3.1.2 Production de biogaz (5B2)

La méthanisation consiste en un traitement de matières organiques en milieu anaérobie. 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% CH₄) 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/fr/ominea>

Activité

Les quantités de déchets traités par compostage et méthanisation en métropole et dans les territoires d'OM inclus dans l'UE sont disponibles dans les enquêtes bisannuelles ITOM de l'ADEME¹ [32]. Les valeurs des années non disponibles sont interpolées.

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.

Catégorie	1990	2000	2010	2020
Unité	Gg	Gg	Gg	Gg
Compostage industriel	1 462	3 666	5 589	9 303
Compostage domestique	1 436	1 628	2 399	3 472

Catégorie	1990	2000	2010	2020
Unité	Gg	Gg	Gg	Gg
Déchets méthanisés	33	90	251	1 400

Emissions

Emissions de CO₂

Le CO₂ 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 CO₂ issues des traitements biologiques dans les formats de rapport CRF (catégorie 5B).

Emissions de CH₄

Les émissions de CH₄ 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 :

$$\text{Emissions de CH}_4 = \sum_{i,j} (M_{i,j} * EF_{i,j}) * 10^{-3} - R$$

Où :

Émissions de CH₄ = émissions totales de CH₄ au cours de l'année d'inventaire, Gg CH₄

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 CH₄/kg de déchets traités

i = compostage ou méthanisation

j = catégorie de déchets traités

R = quantité totale de CH₄ récupérée au cours de l'année d'inventaire, Gg CH₄

Concernant le compostage, 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 utilisée provient de l'étude ADEME « Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts » [1111] qui indique une répartition de la quantité compostée sensiblement égale entre un compostage accéléré et un compostage lent. Le facteur d'émission national est ainsi estimé en fonction des quantités compostées de chaque catégorie et évolue sur la période d'inventaire en conséquence.

Pour le compostage domestique, il est supposé que les facteurs d'émission sont représentatifs du compostage ouvert sans aération en andains de la note du WG1.

<i>Catégorie</i>	Déchets verts	Ordures ménagères	Biodéchets	Boues et autres	Part tonnages traités
<i>Unité</i>	<i>g CH₄/t</i>	<i>g CH₄/t</i>	<i>g CH₄/t</i>	<i>g CH₄/t</i>	<i>%</i>
<i>Sites aérés (ouverts et fermés)</i>	2 500	2 500	2 500	2 500	49%
<i>Sites non aérés (ouverts)</i>	4 300	2 700	2 700	2 700	51%
<i>FE moyen</i>	3 414	2 602	2 602	2 602	/

Les émissions de CH₄ 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].

Facteurs d'émission de CH₄ (g CH₄/kg de déchets traités)

	Sur une base de poids sec	Sur une base de poids humide
<i>Digestion anaérobie dans les installations de biogaz</i>	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.

	Déchets verts	Ordures ménagères	Biodéchets	Boues et autres
Unité	%	%	%	%
Taux d'humidité	60,0	36,7	63,3	70

Emissions de N₂O

La production de compost émet du N₂O. 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 N₂O = émissions totales de N₂O au cours de l'année d'inventaire, Gg N₂O

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 N₂O/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 utilisée 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] qui indique une répartition de la quantité compostée sensiblement égale entre un compostage accéléré et un compostage lent. Le facteur d'émission national est ainsi estimé en fonction des quantités compostées de chaque catégorie et évolue sur la période d'inventaire en conséquence.

Pour le compostage domestique, il est supposé que les facteurs d'émission sont représentatifs du compostage ouvert sans aération en andains de la note du WG1.

Catégorie	Déchets verts	Ordures ménagères	Biodéchets	Boues et autres	Part tonnages traités
Unité	g N ₂ O/t	g N ₂ O/t	g N ₂ O/t	g N ₂ O/t	%
Sites aérés (ouverts et fermés)	77	77	77	77	49%
Sites non aérés (ouverts)	31	79	79	79	51%
FE moyen	54	78	78	78	/

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 2^{ème} 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 2019 et 2020 sont basées sur les données 2018 provisoires.
- L'incertitude sur les facteurs d'émission est estimée à 100% pour le CH₄ et 100% pour le N₂O.

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 CH₄/ tonne de déchets compostés et 60 à 600 g N₂O / 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 CH₄/ tonne de déchets méthanisés).

7.3.5 Recalculs

Impacts des recalculs du CRF 5B

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO ₂ e	312	363	537	691	717	737	759	787	813	933	1 053	1 122	1 186	1 196	1 206	1 246	1 287	1 291
Nouveau	kt CO ₂ e	295	354	537	689	716	735	756	792	827	956	1 086	1 158	1 221	1 226	1 231	1 274	1 317	1 329
	kt CO ₂ e	-18	-8,8	-0,80	-1,6	-1,2	-2,2	-3,0	+5,4	+14	+23	+33	+36	+35	+30	+25	+28	+30	+38
Différence	%	-6%	-2%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	+1%	+2%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+2%	+2%	+2%	+3%

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

Description des recalculs

Modification de la quantité de déchets compostés sur des sites industriels en 2019. La quantité de déchets compostés en 2019 lors du dernier inventaire était issu en partie de projections réalisées par le Ministère. Compte tenu du fait que la valeur anciennement considérée contredisait la tendance

des enquêtes biannuelle de l'ADEME, il a été décidé de considérer une stagnation de la quantité de déchets compostés sur sites dans l'attente de la sortie de l'enquête 2022 portant sur le traitement des déchets en 2020. Cette modification implique une modification des émissions de CH₄ et de N₂O pour 2019.

En parallèle, la méthodologie concernant l'estimation des quantités de déchets compostés par les particuliers (gestion domestique) a été revue. Historiquement, des données de l'ADEME permettant (entre autres) d'estimer la quantité de quantités de déchets domestiques gérés par gestion domestique en 2008 ainsi que la part de ces déchets compostés dans les jardins étaient utilisées. Les quantités compostées pour les autres années étaient alors estimées au prorata du nombre de maisons principales en France (données INSEE). Désormais, de nouvelles données permettent d'estimer les quantités de déchets ménagers compostés dans le jardin pour les années 2013 et 2020. Entre 2008 et 2020, pour les années où aucune donnée n'est disponible, les quantités de déchets compostés à domicile sont estimées par interpolation linéaire. En première approche, l'évolution temporelle sur la période antérieure à 2008 est réalisée en indexant les quantités de déchets verts compostés par les particuliers sur le nombre de maisons principales en France (données INSEE). L'ensemble des modifications méthodologiques relatives aux compostages domestique et industriel induit des modifications sur les émissions estimées entre 1990 et 2019.

Concernant la méthanisation, les émissions étaient estimées selon une méthode nationale sur la base du taux de génération de biogaz (320 m³ / tonne de matière brute) dans les centres de méthanisation d'ordures ménagères et sur la base de la teneur en CH₄ du biogaz issu de la méthanisation des déchets (60% [237]) et d'un taux de fuite du biogaz produit. Ce taux de fuite (5%) était issu des Lignes Directrices 2006 du GIEC [359]. La méthode a été revue suite à des discussions avec les revues internationales.

Raisons et justifications

Amélioration de l'exactitude et de la cohérence temporelle.

7.3.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
Waste	5.B.1 Composting - CH ₄ , N ₂ O Transparency	The Party reported in its CRF-Tables 5B for 2019 and for composting an IEF of 8.26 g CH ₄ /kg waste (dm) and an IEF of 0.14 g N ₂ O/kg waste (dm). The NIR (p.686) provides methodology information for quantification of methane and N ₂ O-emissions. AD are quantities of waste composted and EFs for each category of waste (green and	The ERT recommends that the Party specifies all EF and AD used to quantify emissions due to composting in the next submission and clearly specifies what information comes from national statistics (total amount of waste composted) and what is assumed/considered (percentage actively and passively aerated installations; composition of waste composted; amount of	2021 Review PMF* / W.14	Implemented. France specified all EFs and ADs used to quantify emissions from composting in the NIR 2022 submission and presented the assumptions used on the moisture content of different types of waste.

		<p>organic waste, mixed household waste, sludge and others) were based on literature. The ventilation mode of the installations (closed vs. open air composting) is also taken into account. The ERT noted that the IEF are higher than expected, when compared to the literature source and assuming a moisture content of 60 per cent in wet waste. When trying to assess the implications of this for total emissions, the ERT noted that the NIR does not provide sufficient information to reproduce the CH₄ and N₂O-emissions reported.</p> <p>During the review, the Party clarified that it assumes a moisture content of 60 per cent for green waste, 37 per cent for household waste, 63 per cent for bio-waste and 70 per cent for sludge. And the Party specified the (wet waste) EF used: for actively aerated installations, the EF used are 2 500 g CH₄/t and 77 g N₂O/t. For passively aerated sites different EF are used for green waste (4 300 g CH₄/t; 31 g N₂O/t) and other types of waste (2 700 g CH₄/t/79 g N₂O/t). In addition, each of these EFs by category of waste is averaged in proportion to the percentage of actively aerated (49 per cent) and passively aerated (51 per cent) installations. For home-composting the EF for passively aerated installations are used. These EFs are applied to all the waste taken into</p>	<p>waste composted at homes and its composition). The assumption on moisture content does not affect emissions. However, it does affect the IEF and to facilitate comparison to other Parties the ERT recommends the Party to either assume 60 per cent moisture content in all waste fractions or to specify in the documentation box the assumptions used on moisture content in the various types of waste.</p>		
--	--	---	--	--	--

		account in industrial composting (9.251.496 Mg in 2019), where 61 per cent of composted waste is considered to be green waste, 10 per cent is mixed household waste, 7 per cent is bio-waste and 22 per cent is sludge and others. The quantities of composted waste in domestic management are estimated on the basis of a national survey on the domestic management of organic waste carried out by ADEME (in 2019, this represented 2.518.586 Mg). In 2019, 89 per cent of waste composted at home is considered to be green waste and 11 per cent to be bio-waste.			
Waste	5.B.2 Anaerobic digestion at biogas facilities - CH4 Transparency	<p>The Party reported in its NIR (p.686) that emissions from anaerobic digestion are based on a biogas generation rate of 320 m3 per ton of raw material, a methane concentration of 60 per cent in the biogas produced and a leakage rate of 5.0 per cent. The CRF Table 5B for 2015 reports for anaerobic digestion an IEF of 5.9 g CH4 per kg dry waste.</p> <p>The ERT noted that the IEF in the CRF Table is much lower, than expected based on the description in the NIR (resulting in 17.1 CH4 per kg dry waste).</p> <p>During the review, the Party clarified that the biogas generation rate in the NIR of 320 m3/ton of raw material is a reporting mistake. France uses a biogas generation rate for</p>	The ERT recommends that the Party clearly specify all AD and assumptions in the NIR used to quantify emissions from anaerobic digestion. Relevant assumptions are biogas generation for each type of waste, methane concentration in biogas, density of methane and leakage rate.	2021 Review PMF* / W.15	Implemented. France specified all EFs and ADs used to quantify emissions from anaerobic digestion in the NIR 2022 submission.

		each type of waste: 73 m3/t for slurry, 125 m3/t for household waste, 140 m3/t for bio-waste and 19.5 m3/t for sludge. These values come from a study by ADEME. In 2019, 835.661 Mg of household waste, 453.427 Mg of bio-waste and 34.020 Mg of sludge and others was digested.			
--	--	--	--	--	--

7.3.7 Améliorations envisagées

Cas du compostage :

Sur la base de nouvelles informations collectées dans l'enquête ITOM, l'usage de biofiltres dans les installations de compostage en bâtiments fermés sera pris en compte dans l'estimation à court ou moyen terme.

Cas de la méthanisation :

Aucune amélioration méthodologique n'est prévue à court terme.

7.4 Incinération des déchets (5C)

Cette section se rapporte aux installations d'incinération de déchets et aux feux ouverts de déchets.

Tableau 227 : Substances pour lesquelles le secteur 5C est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
5C	CO ₂	36 ^{ème}	0,41%	-	-

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 dédiés à l'incinération, sur les sites de production des déchets incinérés (dits « in-situ ») ou encore sur des sites mixtes de traitement des déchets.

On distingue des incinérateurs avec récupération d'énergie et des incinérateurs sans récupération d'énergie.

La co-incinération de déchets (par exemple en cimenteries) est également pratiquée en France.

En complément, la France dispose de crématoriums dédiés à l'incinération des corps.

Feux ouverts

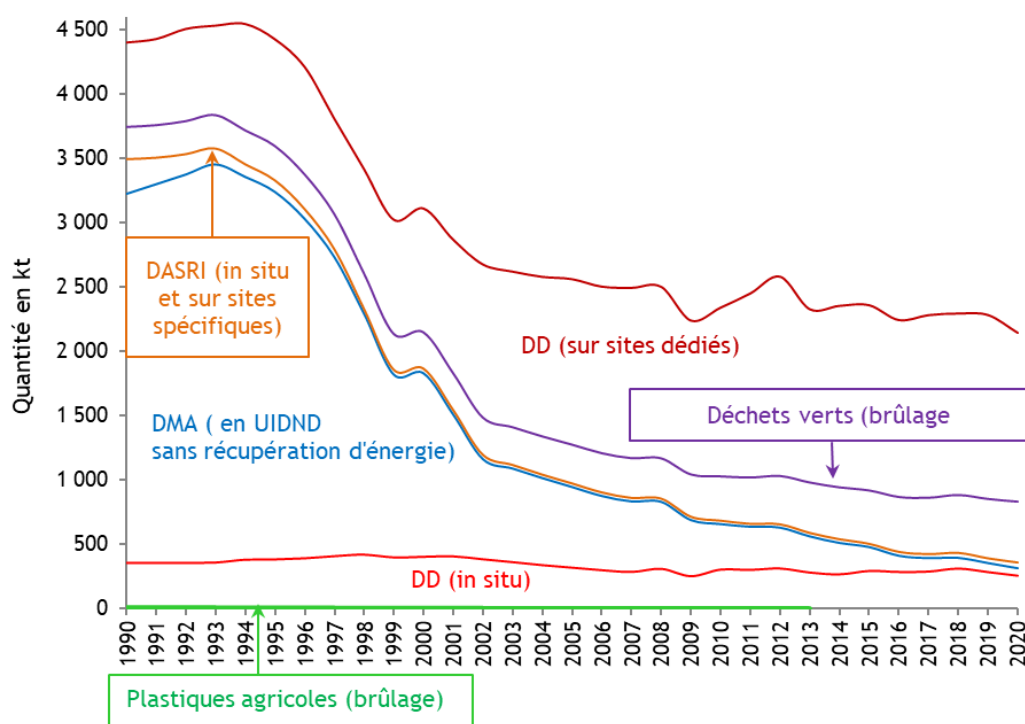
Bien que ce soient des activités illicites, plusieurs types de feux sont pratiqués en France et pris en compte dans l'inventaire national :

- feux de plastiques agricoles,
- feux de déchets verts domestiques,
- brûlage de câbles électriques.

En complément, les feux de véhicules sont également considérés dans l'inventaire national.

La figure ci-dessous illustre l'évolution des quantités de déchets incinérés selon leur type ainsi que leur contribution aux émissions exprimées en CO₂ équivalent de la catégorie 5C.

Figure 182 : Evolution des quantités de déchets incinérés et brûlés selon leur type (en kt) - (Périmètre Kyoto)



Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

Graph_5.xlsx/Incinération

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**7.4.1.1 Incinération de déchets (5C1)****Incinération des déchets non dangereux (5C1.1a et 5C1.2a)**

Environ 125 sites d'incinération de déchets non dangereux recevant des déchets ménagers étaient recensés en métropole dont 2 sites en Outre-mer (Martinique et St Barthélemy). Parmi ces sites, près d'une dizaine sont sans récupération d'énergie, et traitent moins de 100 000 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 disparaître peu à peu au profit notamment de l'incinération avec récupération d'énergie et ne devrait plus exister à partir de 2025 [608].

Données d'activité

L'ADEME réalise périodiquement, depuis plusieurs décennies, les enquêtes ITOM (Installations de Traitement des Ordures Ménagères) [32]. Ces enquêtes contiennent des données relatives à tous les sites recevant au moins des déchets collectés dans le cadre du service public d'élimination des déchets, implantés en Métropole et dans les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE. Les données collectées sont nombreuses : il s'agit, pour chaque installation, des quantités traitées par type de déchets selon la nomenclature ITOM, de l'énergie produite et son usage (vendue ou autoconsommée), des refus etc. Les données nécessaires à l'inventaire national (essentiellement les quantités traitées par type de déchets pour chaque installation) sont obtenues sous forme d'une base de données auprès de l'ADEME.

Les résultats de l'enquête ITOM font en outre l'objet d'un rapport public tous les 2 ans. La dernière édition a été publiée en 2020 et concerne les données de l'année 2018.

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 CO₂ 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 2019 :

- Epandage agricole (36,7 %),
- Compostage (42,5 %),
- Incinération en UIOM, STEP ou site dédié (16,8 %),

- Mise en décharge (0,6 %),
- Autres (3,4 %).

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.

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, suite à l'enquête du Ministère de la santé de 1990, il a été demandé aux hôpitaux de mettre leurs incinérateurs en conformité, ce qui représente 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], deux sont toujours en fonction, dont une ligne dédiée située dans une UIDND.

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].

7.4.1.2 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.

Feux ouverts des déchets non-organiques (5C2.2)

Feux de véhicules

Cette section se rapporte aux feux de véhicules dont les causes peuvent être volontaires ou accidentelles.

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 brûlée conformément à la législation en vigueur. Les quantités brûlées (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/fr/ominea>

7.4.2.1 Incinération de déchets (5C1)

Incinération des déchets non dangereux (5C1.1a et 5C1.2a)

Emissions de CO₂

Les émissions de CO₂ sont déterminées selon la méthodologie recommandée dans les lignes Directrices 2006 du GIEC [743] au moyen de facteurs d'émission calculés sur la base du contenu en carbone des déchets (FC), de la composition des déchets traités en UIDND (WF), du facteur d'oxydation de l'incinération (OF) et du ratio de carbone d'origine fossile (CFC).

$$CO_2 \text{ Emissions} = MSW * \sum_i (WFi * dmi * CFi * FCFi * OFi) * 44/12$$

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 183 : 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 combustibles (%)		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	22,4%	5,3%	15,0%	12,7%	2,6%	11,8%	0,1%	27,4%	16,6%	0,7%	0,0%	1,9%
2018	22,0%	5,4%	15,0%	12,5%	2,7%	12,1%	0,1%	27,9%	16,8%	0,7%	0,0%	1,7%
2019	21,7%	5,3%	15,0%	11,3%	2,6%	12,0%	0,2%	29,5%	18,0%	0,7%	0,0%	1,7%
2020	21,5%	5,1%	15,0%	10,0%	2,6%	11,9%	0,3%	31,1%	19,2%	0,7%	0,0%	1,7%

Graph_5.xlsx / Composition_uidnd

Les valeurs par défaut de contenu en carbone des déchets (FC) proposées par le GIEC sont appliquées [617][618].

La valeur par défaut du facteur d'oxydation de l'incinération proposée par le GIEC est appliquée [618].

Les valeurs par défaut du ratio de carbone d'origine biomasse (FCF) proposées par le GIEC sont appliquées [617][618].

Emissions de CH_4

Le facteur d'émission de CH_4 dépend du type de technologie d'incinération (four à grille ou à lits fluidisés).

Pour une technologie à grille, le facteur d'émission est de 0,2 kg CH_4 / kt de déchets [619].

Pour une technologie à lits fluidisés, le facteur d'émission du CH₄ 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.

Emissions de N₂O

Le facteur d'émission du N₂O 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.

1990	2000	2010	2020
98,43	98,43	58,72	30,30

Facteurs d'émission de N₂O associés à l'incinération de déchets ménagers (g N₂O/Mg de déchets)

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 40%.

Emissions de CO₂

Les émissions sont calculées au moyen d'un facteur d'émission de 1650 kg/t de boues 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 CRF.

Emissions de CH₄

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 N₂O

Les émissions sont calculées au moyen d'un facteur d'émission de 990 g/t de boues tiré des Lignes Directrices 2006 du GIEC [432].

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].

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 CO₂**

Le facteur d'émission du CO₂ 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.

1990	2000	2010	2020
799,6	799,6	909,4	954,9

Facteurs d'émission de CO₂ associés à l'incinération de déchets ménagers (kg CO₂/Mg de déchets)

Emissions de CH₄

A partir de 2004, les données des déclarations annuelles des sites industriels [19] sont utilisées et permettent de calculer un facteur d'émission de CH₄ 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.

1990	2000	2010	2020
12,7	12,7	14	13,1

Facteurs d'émission de CH₄ associés à l'incinération de déchets ménagers (g CH₄/Mg de déchets)

Emissions de N₂O

A partir de 2004, les données des déclarations annuelles des sites industriels [19] sont utilisées et permettent de calculer un facteur d'émission de N₂O 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.

1990	2000	2010	2020
127,4	127,4	40,3	8,2

Facteurs d'émission de N₂O associés à l'incinération de déchets ménagers (g N₂O/Mg de déchets)

Incinération spécialisée des déchets hospitaliers (5C1.2b)Données d'activité

Les quantités incinérées par année sont déduites des valeurs des sites d'incinération spécifiques [19, 261, 262] ainsi que des estimations concernant l'incinération in-situ [261].

Rapportage

Les émissions sont rapportées dans la catégorie 5C sur toute la série temporelle.

Emissions :**Emissions de CO₂**

Les émissions sont estimées au moyen d'un facteur d'émission de 880 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 CH₄

Les émissions de CH₄ 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 N₂O

Les émissions de N₂O 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

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 CO₂

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 CH₄

Les émissions sont supposées négligeables.

Emissions de N₂O

Les émissions sont supposées négligeables.

7.4.2.2 Feux ouverts de déchets (5C2)

Feux ouverts des déchets verts (5C2.1b)

Activité

Les voies de gestion des déchets domestiques appliquées en France (gestion domestique, dépôt en déchetterie, etc.) par type de déchets (déchets de potager, déchets de cuisine, feuilles, tontes, etc.) ont été estimées à l'aide de documents publiés par l'ADEME en 2008 [489] et en 2021 [1196] et [1197]. Ces études ont notamment permis de caractériser les pratiques de gestion domestique (brulage, compostage en tas, épandage, etc.) en termes de quantités de déchets pour les années 2008, 2013 et 2020.

Entre 2008 et 2020, pour les années où aucune donnée n'est disponible, les quantités de déchets verts brûlés par les particuliers sont estimées par interpolation linéaire. En première approche, l'évolution

temporelle sur la période antérieure à 2008 est réalisée en indexant les quantités de déchets verts brûlés par les particuliers sur le nombre de maisons principales en France.

Emissions

Emissions de CO₂

Ces émissions sont considérées être en totalité d'origine biomasse et ne sont pas rapportées dans le total national pour le rapportage CRF.

Emissions de CH₄

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 CH₄ / Mg de déchets verts brûlés.

Emissions de N₂O

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 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 du 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.

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].

Emissions

Emissions de CO₂

Le facteur d'émission provient d'une étude réalisée par l'INERIS pour le compte de l'ADEME sur les feux de véhicules (entre autres) [1084]. Ce dernier est estimé à 1 827 kg CO₂/Mg de matière perdue.

Emissions de CH₄

Les émissions ne sont pas estimées.

Emissions de N₂O

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 CO₂

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 CH₄

En l'absence d'informations fiables et en raison des faibles niveaux supposés, les émissions de CH₄ sont actuellement négligées.

Emissions de N₂O

En l'absence d'informations fiables et en raison des faibles niveaux supposés, les émissions de N₂O 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 2^{ème} 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 CO₂, 50 % pour le CH₄ et 30 % pour le N₂O.

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 CRF 5C

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO ₂ e	2 378	2 410	1 860	1 690	1 747	1 607	1 653	1 619	1 714	1 744	1 636	1 621	1 870	1 628	1 577	1 754	1 485	1 453
Nouveau	kt CO ₂ e	2 364	2 395	1 845	1 674	1 732	1 595	1 643	1 612	1 710	1 743	1 639	1 623	1 877	1 635	1 631	1 573	1 508	1 838
Différence	kt CO ₂ e	-15	-14	-15	-16	-14	-12	-10,0	-7,6	-4,5	-0,64	+2,8	+1,6	+7,1	+6,2	+55	-180	+23	+385
	%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-0%	-0%	-0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+3%	-10%	+2%	+26%

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

Description des recalculs

Incinération des déchets non dangereux (5C1)

- Prise en compte d'une nouvelle enquête de caractérisation des déchets (MODECOM 2017) qui contribue une modification du COD et des émissions issues de l'incinération des déchets ménagers et assimilés entre 2008 et 2019.
- Correction d'une erreur minime sur l'enquête de caractérisation des déchets de 2007 (MODECOM 2007) qui contribue à une modification du COD et des émissions issues de l'incinération des déchets ménagers et assimilés sur la période 1990 - 2007.
- Mise à jour des facteurs d'émission associés à l'incinération des déchets industriels sur la période 2016 - 2019. Cette prise en compte a introduit une hausse des émissions de CO₂ pour les années 2016, 2018, 2019 et une baisse pour l'année 2017.

Incinération des déchets dangereux (5C2)

- Changement méthodologique concernant l'estimation des émissions associées au brûlage des déchets verts. Ces changements ont conduit à une augmentation des émissions de CH₄.
- Changement méthodologique concernant l'estimation des émissions des feux de véhicules. Les nouvelles données relatives à l'année 2019 issues de la dernière édition de "Les statistiques des Services d'incendie et de secours" (édition 2020) ont été utilisées. En parallèle, une étude plus récente de l'Ineris donne un FE du CO₂ plus bas que celui utilisé précédemment. L'ensemble de ces modifications contribue à une baisse des émissions de CO₂ issues des feux de véhicules.

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 228 : Substances pour lesquelles le secteur 5D est source clé en 2020 (hors UCTATF)

Sous-secteur	Substance	Niveau		Evolution	
		Rang	Contribution (%)	Rang	Contribution (%)
5D	CH ₄	31 ^{ème}	0,6%	36 ^{ème}	0,6%

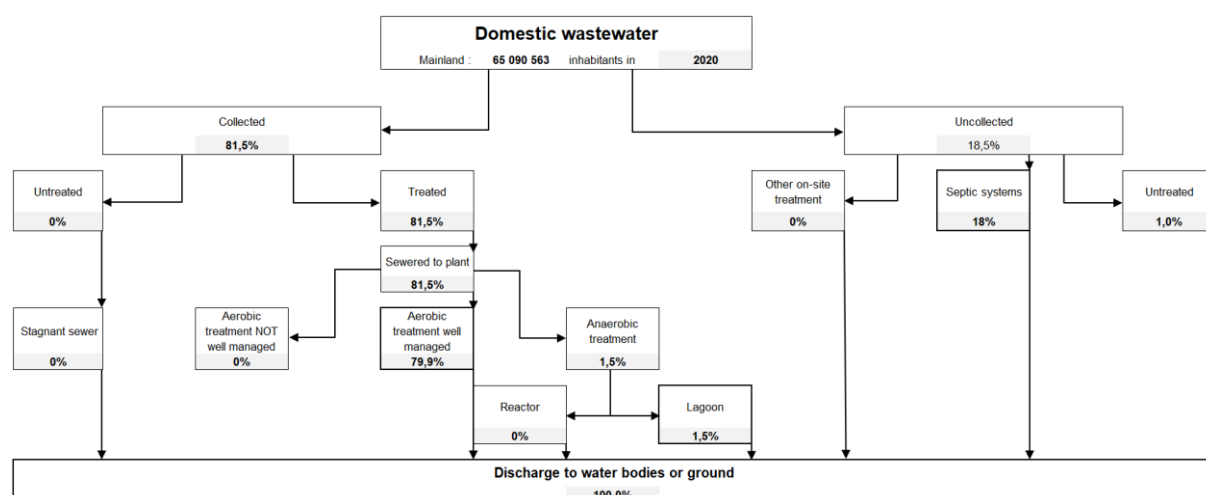
Les eaux usées résidentielles et les eaux usées industrielles sont abordées distinctement.

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 19 500 stations d'épuration d'eaux usées (dites STEU ou STEP) recevant des eaux résidentielles, commerciales et industrielles. Des informations descriptives relatives à ce parc de STEU (capacité, type, conformité, commune d'implantation...) sont mises à jour annuellement dans la Base de Données sur les Eaux Résidentielles Urbaines (BD ERU) publiée par le Ministère 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 STEP 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 2020.

Tableau 229 : Répartition de la population par type de traitement/rejet des eaux usées domestiques en Métropole en 2020



Les eaux usées d'une part assez importante (environ 17 %) 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 (environ 1 %) restent rejetées directement dans le milieu naturel sans traitement.

L'usage des latrines ou de toilettes sèches est très marginal bien que promût depuis quelques années dans les zones naturelles reculées (parcs nationaux/régionaux, stations de montagne...).

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.

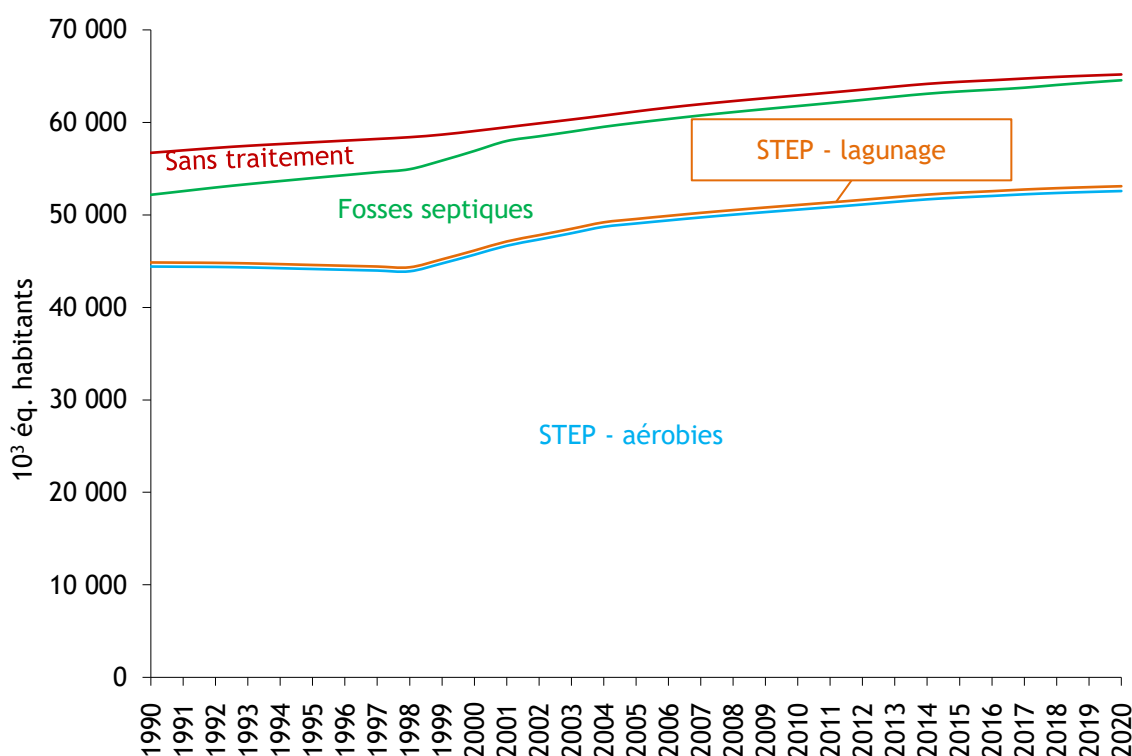
Tableau 230 : Répartition du type de traitement des eaux usées domestiques en Métropole

Année	1990	1995	2000	2005	2010	...	2020
Part de la population connectée à une STEU (%)	79	77	78	81	81	81	82
Part de la population connectée à une fosse septique (%)	13	16	18	17	17	17	17
Part de la population avec rejet direct (%)	8	7	4	2	2	2	1

L'évolution des taux de collecte à ces STEU entre 1990 et 2005 est liée à la Loi sur l'eau de 1992 qui rend obligatoire la collecte et le traitement des eaux usées domestiques. Le transfert de la population avec rejets directs s'est d'abord effectué vers les traitements autonomes, puis de la population non raccordée à un système collectif vers les STEU. Toutes les eaux usées collectées sont traitées.

Le développement des fosses septiques a notamment entraîné une augmentation de près de 45 % des émissions de CH₄ de la catégorie 5D1 alors que les émissions de CH₄ dues aux STEU sont restées stables (phase anaérobie du lagunage naturel). Les émissions de N₂O ont chuté de 40 % sur la même période en raison d'une meilleure efficacité dans l'élimination de l'azote des STEU.

Figure 184 : Pollution traitée par système en Métropole



Source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022

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 « Kyoto »), la part de la population connectée à une fosse septique dépend du territoire (entre 40 % et 50 %).

La quantité d'azote rejetée par habitant dépend de la consommation en protéines. La consommation en protéines est estimée sur la base de données de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'Agriculture), l'AFSA (l'Agence Française de Sécurité des Aliments) et le Crédoc (Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie), et est utilisée pour la métropole et pour les territoires d'OM.

Des valeurs spécifiques existent pour la Polynésie Française et la Nouvelle Calédonie et sont utilisées. Pour les autres territoires d'outre-mer, la consommation annuelle de protéine est considérée similaire à celles des territoires cités plus haut.

Tableau 231 : Evolution de la consommation journalière de protéines d'un habitant en France métropolitaine

Année	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Consommation en protéines (g/hab./jour)	91,1	90,5	93,9	97,6	101,4	94,7	89,5

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/fr/omineas>

Emissions de CO₂

Le CO₂ 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 CO₂ issues du traitement de l'eau dans les formats de rapportage CRF (catégorie 5B). Ces émissions de CO₂ ne sont pas estimées dans l'inventaire national.

Emissions de CH₄

Les émissions de CH₄ lors du traitement et du rejet des eaux usées et du traitement des boues dépendent essentiellement de 2 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 CH₄ 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.

DEVENIR DES EAUX USEES RESIDENTIELLES			CH ₄	N ₂ O
Collectées	Sans traitement		0	X (rejet)
	Transfert via les égouts		Non estimé	Non estimé
	Avec traitement	Traitement primaire	0	X (rejet)
		Traitement secondaire physico-chimique		
		Traitement biologique secondaire aérobie		
		Traitement secondaire avancé (nitrification/dénitrification)		X (procédé) X (rejet)
		Lagunes peu profondes (< 2m)	X	0
		Lagunes profondes (> 2m)	Absent en France	Absent en France
Non collectées	Sans traitement		0	N ₂ O (rejet)
	Avec traitement	Fosses septiques	X	N ₂ O (rejet)
		Traitement aérobie in situ	0	
		Latrines / toilettes sèches	Négligé	
		Lagunes peu profondes (< 2m)	Absent en France	Absent en France

0: considéré comme nul (MCF =0)

Graphes_OMINEA_5.xls

X: estimé et non nul

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 CH₄ pour chaque type de traitement j sont calculées selon l'équation (1) suivante :

$$E_j = (TOW_j - S_j) \times B_0 \times MCF_j - R_j$$

Avec :

j : type de système de traitement /rejet

TOW_j : charge organique en entrée du système j (kg DBO₅/an)

S_j : charge organique dans les boues extraites (kg DBO₅/an)

B₀ : quantité de CH₄ émise par kg de BOD

MCF_j : taux de conversion en CH₄ du système x (conditions anaérobies)

R_j : quantité de CH₄ capté (kg CH₄/an) sur le système j

Dans cette équation, le facteur d'émission de chacun des types de traitement correspond alors à $B_0 \times MCF_j$.

La valeur de B_0 par défaut proposée par les Lignes Directrices 2006 du GIEC [615] est appliquée ($B_0 = 0,6 \text{ kg CH}_4 / \text{kg DBO}_5$ et $0,25 \text{ kg CH}_4 / \text{kg DCO}$).

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 DBO₅/an)

P_j : Population connectée aux STEU utilisant majoritairement le procédé j

BOD : charge organique unitaire (g DBO₅/hab/jour)

La valeur de BOD par défaut proposée par les Lignes Directrices 2006 du GIEC [615] est appliquée (BOD = 60 g DBO₅/habitant/jour).

a.1.1/ Cas des stations collectives urbaines

En France, 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 CH₄. Donc, seules les stations de type lagunage naturel présentent les conditions d'anaérobies nécessaires à l'émission de CH₄ (MCF non nul).

La part des capacités des STEU de type lagunage naturel décroît 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. 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 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 $B_0 \times MCF_j$ des stations d'épuration de type lagunage naturel, est donc égal à $0,12 \text{ kg CH}_4 / \text{kg DBO}_5$.

La charge organique des boues extraites n'est pas connue et est considérée comme nulle ($S_j = 0$).

Aucun CH₄ n'est capté au niveau des lagunes ($R_j = 0$).

a.1.2/ Cas des eaux usées non raccordées au réseau de collecte

En France, environ 17,5% 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 (17,5% de la population), et une faible part est rejetée dans le milieu naturel sans traitement (1% 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 $B_0 \times MCF_j$ des fosses septiques, est égal à $0,3 \text{ kg CH}_4 / \text{kg DBO}_5$.

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 .

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 STEP de type aérobie bien gérées (MCF = 0). Faute de données spécifiques à chaque territoire, la DBO5 par habitant de la Métropole est appliquée.

a.2/ Traitement des eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles sont traitées soit en stations d'épuration collectives (recevant ou non des eaux domestiques), soit en stations d'épuration présentes sur le site industriel (dites in situ). Aucun rejet d'eaux industrielles sans traitement n'est considéré. Les eaux usées industrielles des territoires d'Outre-mer ne sont pas prises en compte car celles-ci sont négligeables en raison des petites activités industrielles.

Les émissions de CH_4 sont estimées pour les procédés de traitement spécifiés dans les lignes Directrices 2006 du GIEC [615] présents en France et pour lesquels un MCF non nul est proposé.

DEVENIR DES EAUX USEES 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 (rejet)
		Traitement secondaire physico-chimique		
		Traitement biologique secondaire aérobie		X (procédé) X (rejet)
		Traitement secondaire avancé (nitrification/dénitrification)		
		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	Absent en France	Absent en France
		Traitement aérobies	0	N_2O (rejet)
		Latrines	Absent en France	Absent en France
		Lagunes peu profondes (< 2m)	X	N_2O (rejet)

0: considéré comme nul (MCF = 0)

X: estimé et non nul

Graphes_OMINEA_5.xls

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 CH₄. 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 meilleures 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 CH₄ et que seules les industries des industries agroalimentaires (IAA) font usage de ce mode de traitement, seules les émissions de CH₄ issues de ces sites sont estimées.

Sur la base du registre des émissions polluantes (GEREP) [19], les industries agroalimentaires représentent en 2020, 29,2% des rejets directs en DCO des sites industriels [19].

Faute de données en entrée des stations in-situ (DCO générée par les procédés industriels), les données de DCO en sortie des sites sont utilisées.

Tableau 232 : Demande Chimique en Oxygène (DCO) des industries de l'agroalimentaire (IAA) traitée par lagunage naturel

Année	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
DCO des IAA traitées par lagunage naturel (Mg/an)	373,7	607,0	744,4	1 258,8	916,1	466,8	397,0

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 dans STEU.

L'équation (1) est appliquée pour les eaux industrielles (en fonction de DCO) avec $B_0 = 0,25 \text{ kg/kg DCO}$.

La charge organique des boues extraites n'est pas connue et est considérée comme nulle ($S_j = 0$).

Aucun CH₄ 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 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 225 m³/tonne de MS traitée jusqu'en 2001 [372] et de 380 m³/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 CH₄ est prise en compte [372].

Le GIEC propose un taux de fuite de 5% lié aux aléas de fonctionnement du digesteur [373]. Ce taux de fuite est utilisé pour estimer les émissions de CH₄.

Le facteur d'émission déduit évolue de 5 kg CH₄/t de MS avant 2001 à 8,6 kg CH₄/t de MS traitée après 2010.

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 2 études sur l'état des lieux de la filière méthanisation, un taux de production de biogaz de 382 m³/tonne de MS traitée [372] dans le cas des stations industrielles in-situ. Une teneur de 68% en CH₄ identique à celle des méthaniseurs de boues de STEU est retenue.

Le taux de fuite de 5% lié aux aléas de fonctionnement du digesteur [373] est utilisé pour estimer les émissions de CH₄.

Le facteur d'émission déduit est égal à 8 617 g CH₄/t de MS traitée.

Tableau 233 : Quantité de boues méthanisées en STEP industrielles

Année	1990	2000	2010	2020
Quantité de boues méthanisées (Gg de MS)	370,5	405,3	318,4	318,4

Emissions de N₂O**1/ Traitements des eaux usées résidentielles****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] :

$$E_j = N_{effluent_j} \times FE_{N_2O-N} \times 44/28$$

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 N₂O-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] 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 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 82% depuis 2011 [234] avec pour conséquence une diminution des émissions liées au rejet des eaux traitées au fil des ans.

$$N_{\text{effluent}} = N_{\text{influent}} \times (1 - R_{\text{STEU}})$$

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 rejet direct

Pour les autres traitements et pour le rejet direct, on considère :

$$N_{\text{effluent}} = N_{\text{influent}} - N_{\text{sludge}}$$

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 ($N_{\text{sludge}} = 0$) 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. De plus, les données disponibles sur le site de la FAO correspondent aux protéines disponibles au consommateur et non à la consommation ce qui surestime les calculs. 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 STEU « avancées »

La part des capacités des STEU disposant d'un traitement « dénitrification » ou « dénitrification poussée » est disponible dans la Base de Données sur les Eaux Résidentielles Urbaines (BD ERU) publiée par le Ministère en charge de l'Environnement [752]. Cette proportion est appliquée à la population raccordée à des STEU pour estimer la population dont les eaux sont traitées dans des STEU de type « avancé ».

Le facteur d'émission de 3,2 g N_2O /hab proposé par les Lignes Directrices 2006 du GIEC 2006 [374] est appliqué (bien qu'il soit peu documenté et paraisse incohérent car inférieur à celui des rejets dans le milieu naturel).

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].

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-N₂O/g N) [616].

La quantité d'azote par les industries non raccordée aux STEU (N_{effluent}) est issue des déclarations annuelles des émissions dans l'eau rapportées par les exploitants (rejets dit « directs ») [245, 375, 436].

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 2^{ème} 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 CH₄ ou pour le N₂O.

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 CRF 5D

PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO ₂ e	2 215	2 606	2 814	2 651	2 664	2 637	2 647	2 654	2 688	2 636	2 646	2 647	2 622	2 655	2 639	2 653	2 655	2 656
Nouveau	kt CO ₂ e	2 062	2 455	2 679	2 573	2 595	2 575	2 591	2 604	2 632	2 588	2 599	2 598	2 574	2 601	2 581	2 581	2 616	2 626
Différence	kt CO ₂ e	-153	-151	-135	-78	-69	-62	-56	-49	-56	-48	-47	-49	-49	-54	-58	-71	-39	-30
	%	-7%	-6%	-5%	-3%	-3%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-3%	-1%	-1%

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

Description des recalculs

Les recalculs suivants ont été réalisés concernant les eaux domestiques :

5D1 : Dans cette nouvelle édition de l'inventaire, la consommation en protéine est considérée (avant la disponibilité en protéines était considérée). Cette modification méthodologique contribue à la baisse des émissions de N₂O. En parallèle, un nouveau jeu de données plus complet que celui utilisé auparavant a induit une hausse des quantités de DCO en sortie de STEP collectives sur toute la période avec le changement de méthodologie (utilisation de la base de données GEREPA au lieu de IREP).

5D2 : Mise à jour des quantités de DCO en sortie de STEP industrielles sur toute la période avec le changement de méthodologie (GEREPA au lieu de IREP) qui contribue à la baisse des émissions de CH₄.

Mise à jour des quantités d'azote en sortie de STEP industrielles sur toute la période avec le changement de méthodologie (GEREPA au lieu de IREP) qui contribue à la baisse des émissions de N₂O.

Dans cette nouvelle soumission de l'inventaire, la consommation en protéine est considérée (avant nous considérions la disponibilité). Cette modification méthodologique contribue à la baisse des émissions de GHG à travers la baisse des émissions de N₂O.

Raisons et justifications

Amélioration de l'exactitude.

7.5.6 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour ce secteur et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
Waste	5. General (waste) (W.1, 2019) (W.1, 2017) (W.2, 2016) (W.2, 2015) (111, 2014) (102, 2013) Transparency	Clearly specify when data and figures refer to the geographical coverage under the Convention or under the Kyoto Protocol, and increase the transparency of the reporting of estimated activities for the overseas territories, including the parameters and methodologies used.	In the 2019 ARR it was concluded, that France included more information in the NIR. However, the Party did not explain in the NIR the parameters and methodologies used for estimating emissions from industrial wastewater treatment in the overseas territories. The Party reported in its 2021 NIR (p.704) that emissions from industrial waste water from overseas territories are not taken into account. During the review, the Party clarified that this is due to small industrial activities and lack of data. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the	2021 Review PMF* / W.1	Implemented. France mentioned in its NIR 2022 submissions that "emissions from industrial wastewater from overseas territories are not taken into account, as emissions are negligible due to small industrial activities."

			Party has not yet mentioned in the NIR, that emissions from industrial waste water from overseas territories are not taken into account, because emissions are negligible due to small industrial activities.		
Waste	5.D.1 Domestic wastewater - CH4 (W. 13, 2019), (W.10, 2017) (W.25, 2016) (W.25, 2015) Accuracy	Follow the decision tree in the 2006 IPCC Guidelines regarding the value for Bo and MCF when estimating CH4 emissions from domestic wastewater.	During the review, the Party clarified that they performed a literature survey for new information on emissions from septic tanks. Due to lack of reliable new information, this effort however did not result in an improved emission factor.	2021 Review PMF* / W.7	Still ongoing investigation
Waste	5.D.2 Industrial wastewater - CH4 (W.14, 2019), (W.11, 2017) (W.24, 2016) (W.24, 2015) Transparency	Include in the NIR clear information on AD and CH4 EFs and detailed information about the industries and amounts of wastewater discharged by those industries considered to calculate CH4 emissions from industrial wastewater.	During the review, the Party clarified that the OMINEA database contains some information. However, this issue is about the amount of COD, generated by industry and assumed to be treated via each treatment system and discharge pathway (see 2006 IPCC Guidelines, Vol 5, Chapter 6, figure 6.1) and the EFs for each system/pathway. The ERT considers that the recommendation has not yet been addressed because the Party has not yet included clear information on activity data and emission factors in the NIR.	2021 Review PMF* / W.8	Implemented. France included in its NIR submission 2022 information relating to the amount of COD generated by industry and processed through each treatment system.

Waste	5.D.2 Industrial wastewater - CH ₄ Transparency	<p>The Party reported in its NIR (p.704-705) its methodology to quantify methane emissions from treatment of industrial waste water.</p> <p>The ERT noted that emissions could not be reproduced from the information provided. The Party described, that emissions from treatment of sludge from industrial wastewater is calculated, assuming 5 per cent leakage loss upon anaerobic digestion. However, the ratio of methane emissions and methane recovery for industrial waste water in the CRF-Table 5B suggested that a much higher leakage rate was used.</p> <p>During the review, the Party explained the AD used for the amount of sludge treated by the industries themselves and the amount of COD discharged by lagoons, receiving industrial wastewater. Using this information, the ERT was able to reproduce the Parties emissions. The relative high methane leakage loss, calculated from the CRF-Table was caused by the reported amount of methane recovered for energy use, which did not contain methane recovered at the treatment of sludge by the companies themselves.</p>	<p>The ERT recommends that the Party clearly specify in the NIR in the next submission all AD and assumptions used to quantify emissions from industrial waste water. Relevant AD are the amount of sludge treated by the industries themselves and the amount of COD from industries, received by lagoons and the MCF assumed for treatment of industrial waste water in lagoons.</p> <p>The ERT also recommends the Party to include in the CRF-Table 5.B the amount of methane recovered for energy production from sludge, treated by the industry themselves.</p>	2021 Review PMF* / W.16	<p>Implemented. In the NIR 2022, France specified all the EF and AD used to quantify the emissions due to the treatment of wastewater and more specifically the quantity of sludge treated by the industries and the quantity of COD coming from the industries, received by the lagoons and the assumed MCF for the treatment of industrial wastewater in lagoons.</p>
Waste	5.D.2 Industrial wastewater - CH ₄ Accuracy	<p>The Party reported in its NIR (p.704) its methodology to quantify methane emissions from treatment of industrial waste water in lagoons (in the NIR also referred to as in-</p>	<p>The ERT recommends the Party to improve in the next submission its calculation of methane emissions from lagoons by estimating the amount of COD generated by the industrial process from</p>	2021 Review PMF* / W.17	<p>Ongoing Improvement. France will investigate in order to formulate a hypothesis on the elimination of COD by the lagoon in order to improve its calculation of methane emissions.</p>

		<p>situ stations). The ERT noted that in the absence of data entering the lagoons (COD generated by industrial processes, the COD data leaving the lagoons are used. Since lagoons remove part of the COD generated by the industrial process, this results in an underestimation of emissions. During the review, the Party acknowledged this underestimate, but indicated that it results in a small underestimation of emissions. Under the assumption of 90 per cent removal of COD in a lagoon, AD would increase by a factor 10 and so would emissions. Emissions from lagoons were the highest in 2007, when emissions were estimated to be 0.076 Mg of CH₄. A corrected emission for 2007 would be 0.762 kt of CH₄ or 19,4 kt CO₂-eq. This is well below the ToS for 2007 of 265.44 kt CO₂-eq.</p>	<p>the amount of COD discharged from the open lagoons and an assumption on COD-removal by the lagoon.</p>		
--	--	--	---	--	--

7.5.7 Améliorations envisagées

Les améliorations suivantes sont envisagées à moyen terme :

Prise en compte des émissions de CH₄ d'autres types de lagunes (filtres plantés notamment) et si possible sur la base d'études nationales.

Prise en compte de données par STEU pour décliner une valeur de DBO₅, DCO et d'azote spécifique en entrée de stations.

Recherche sur l'utilisation d'une valeur de MCF spécifique à la France pour les fosses septiques.

8 AUTRES

Ce chapitre donne 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 (R600a) est de plus en plus utilisé dans le froid domestique 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 HFC-1234yf est utilisé en remplacement du HFC-134a dans les nouveaux véhicules depuis 2017. Son utilisation 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 HFC-1234ze est notamment utilisé en remplacement du R-407C et R-410A HFC-134a dans les climatisations fixes et les chillers. Son utilisation augmente donc très rapidement bien que les émissions restent peu élevées. 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 mais ne sont pas rapportées dans le CRF Reporter. Elles sont décrites dans la présente section à titre informatif. À noter que le HFO-1234ze est également utilisé depuis peu dans la climatisation fixe (de même que dans les aérosols techniques et agent d'expansion de mousses) mais dans des quantités très faibles.

8.2 Méthode d'estimation des émissions

La méthodologie de calcul est identique à celle employée pour calculer 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 52 tonnes en 2020 ;
- Les émissions de propane sont également en constante augmentation mais à degré moindre, passant de 0 en 2005 à 9 tonnes en 2020 ;
- Les émissions de HFO-1234yf sont en rapide augmentation, passant de 0 t en 2013 à 415 tonnes en 2020 ;
- Les émissions de HFO-1234ze sont en rapide augmentation, passant de 0 t en 2013 à 12 tonnes en 2020.

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 ÉMISSIONS INDIRECTES DE CO₂ ET N₂O

9.1 Caractéristiques de la catégorie

Suite à une recommandation du WG1 de l'UE, les émissions indirectes de CO₂ issues des émissions de COVNM des solvants sont comptabilisées dans le CRF 2D3.

Les émissions indirectes de N₂O ne sont pas estimées hormis celles des sols agricoles intégrées dans le secteur agriculture (CRF 3).

N.B. : étant donné qu'il n'y a pas d'autres émissions indirectes dans l'inventaire français, la table CRF 6 spécifique aux émissions indirectes n'inclut aucun chiffre d'émissions indirectes. De fait le système de rapportage CRF Reporter affiche automatiquement qu'il n'y a pas de total national avec émissions indirectes dans la table « Summary 2 » (« NA » pour non applicable).

9.2 Méthode d'estimation des émissions

Non concerné

9.3 Incertitudes et cohérence temporelle des séries

Non concerné

9.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

Non concerné

9.5 Recalculs

Non concerné

9.6 Améliorations envisagées

L'estimation des émissions indirectes de N₂O serait envisageable en fonction des discussions futures du comité Changement Climatique de l'UE, dans l'optique d'une position commune des États membres de l'UE.

10 RECALCULS ET AMELIORATIONS

Suite à la demande des revues CCNUCC, 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 NIR 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 NIR. 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 CRF 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 NIR 2022 comparé au NIR 2021.

Tableau 234 : Résumé des modifications des descriptions méthodologiques et des recalculs

Member State:	France		
Reporting year:	2022		
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' CRF	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	x	1A1a (sections 3.2.4.2.1 and 3.2.4.5) - district heating and municipal solid waste incineration
2. Manufacturing industries and construction	x	x	1A2 (section 3.2.5.2 and 3.2.5.5) - stationary sources (combustion)
3. Transport			
4. Other sector			
5. Other			
B. Fugitive emissions from fuels			
1. Solid fuels			
2. Oil and natural gas and other emissions from energy production			
C. CO2 transport and storage			
2. Industrial processes and product use			
A. Mineral industry			
B. Chemical industry			
C. Metal industry			
D. Non-energy products from fuels and solvent use			
E. Electronic industry			
F. Product uses as substitutes for ODS	x	x	2F1 industrial refrigeration (section 4.7.2.1)
G. Other product manufacture and use			
H. Other			
3. Agriculture			
A. Enteric fermentation			
B. Manure management			
C. Rice cultivation			
D. Agricultural soils	x	x	3D1 (section 5.5)
E. Prescribed burning of savannahs			
F. Field burning of agricultural residues			
G. Liming			
H. Urea application			
I. Other carbon containing fertilisers			
J. Other			
4. Land use, land-use change and forestry			
A. Forest land			
B. Cropland			
C. Grassland			
D. Wetlands			
E. Settlements			
F. Other land			
G. Harvested wood products			
H. Other			
5. Waste			
A. Solid waste disposal			
B. Biological treatment of solid waste	x		section 7.3
C. Incineration and open burning of waste	x	x	section 7.4
D. Wastewater treatment and discharge	x	x	section 7.5
E. Other			
6. Other (as specified in Summary 1.A)			
KP LULUCF			
Article 3.3 activities			
Afforestation/reforestation			
Deforestation			
Article 3.4 activities			
Forest management			
Cropland management (if elected)			
Grazing land management (if elected)			
Revegetation (if elected)			
Wetland drainage and rewetting (if elected)			

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 8),
 - aux conclusions des procédures d'assurance qualité,
 - à la disponibilité de nouvelles règles d'estimation et/ou de notification des émissions,
 - à la disponibilité de nouvelles informations ;
- les corrections d'erreurs et d'anomalies ;
- la prise en compte d'une nouvelle source d'émission.

Après chaque soumission de l'inventaire, le programme d'amélioration continue est révisé en traitant prioritairement les catégories clés.

Les modifications apportées sont appliquées rétrospectivement à l'ensemble de la série historique des émissions depuis 1990, année de référence des inventaires, ceci permettant d'assurer la cohérence des émissions sur l'ensemble de la période étudiée conformément aux exigences de la CCNUCC.

Toutes les révisions effectuées lors d'une nouvelle édition de l'inventaire sont au préalable soumises à l'approbation du Groupe de concertation et d'information sur les inventaires nationaux d'émissions piloté par le Ministère chargé de l'Ecologie.

La nature des révisions (recalculs) apportées à cette nouvelle édition de l'inventaire est précisée en détails dans les chapitres relatifs à chaque catégorie CRF (cf. chapitres 3 à 9). Les comparaisons sont réalisées entre la soumission de mars 2021 et celle de mars 2022. Ainsi, des différences peuvent exister entre les résultats indiqués dans les tables 8 du CRF qui comparent deux éditions successives des tables CRF (pouvant contenir, par exemple, des modifications engendrées par un Saturday Paper identifié lors d'une revue annuelle).

La nature des révisions (recalculs) apportées à cette nouvelle édition de l'inventaire est précisée en détails dans les chapitres relatifs à chaque catégorie CRF (cf. chapitres 3 à 9). Les impacts des recalculs par grand secteur CRF sont présentés dans l'annexe 5.

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 2019 (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 2021 et celle de mars 2022. Ainsi, des différences peuvent exister entre les résultats indiqués dans les tables 8 du CRF qui comparent deux éditions successives des tables CRF (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 2021).

Les changements introduits entre les soumissions CCNUCC de mars 2022 et mars 2021 donnent globalement au périmètre Kyoto :

- pour les émissions de CO₂ hors UTCATF, des écarts négligeables de +0,2 % en 1990 et en 2019 sont observés. Cependant, une différence entre les deux éditions de +6,6 % est observée en 2019 sur le CO₂ UTCATF inclus, due à la mise à jour des données relatives aux forêts (4A, cf. section 6.4.5) ainsi que, dans une moindre mesure, les superficies d'histosols cultivés pour les cultures (4B, section 6.5.5) et les prairies (4C, section 6.6.5),
- pour le CH₄, les différences varient de 0,0 % (en 1990) à -0,4 % (en 2019), hors UTCATF,
- les variations sur les émissions de N₂O hors UTCATF varient de -1,1 % (1990) à -1,5 % (2019),
- les émissions de HFC ne varient pas en 1990 et diminuent de -8,2 % en 2019 dues à la révision de la méthodologie du froid industriel (cf. section 4.7.5.1), et notamment la réduction au cours du temps des charges de réfrigérants ainsi qu'une plus forte pénétration de l'ammoniac,
- les émissions de PFC ne varient pas en 1990, et diminuent de 0,7 % en 2019,
- les variations sur les émissions de SF₆ sont nulles en 1990 et de +1,3 % en 2019,
- enfin, les émissions de NF₃ n'ont pas été modifiées en 1990 et en 2019,
- Au total, les émissions exprimées en CO₂ équivalent hors UTCATF sont corrigées de 0,0 % en 1990 et de -0,3 % en 2019. Ces corrections sont plus visibles avec l'UTCATF inclus en 2019 où les émissions en CO₂ équivalent sont corrigées de +4,2 %, pour les raisons évoquées ci-dessus (pour 1990, la différence entre les deux éditions est de -0,4 %)

Tableau 235 : Écart en émissions entre la version de mars 2021 et celle de mars 2022 (pour les années 1990 et 2019) - périmètre Kyoto

source CITEPA / format CCNUCC (*) - mars 2022

serre/comp-méth.xlsx

Substance	année 1990 ^(d)		année 2019 ^(d)		1990	2019
	en mars 2021	en mars 2022	en mars 2021	en mars 2022	écart entre les deux versions	
Gaz à effet de serre direct						
CO ₂ hors UTCATF ^(c) dont CO ₂ indirect	398	398	326	327	0,2%	0,2%
CO ₂ net ^(a)	372	370	291	310	-0,3%	6,6%
CH ₄ hors UTCATF ^(c)	2 768	2 766	2 239	2 230	0,0%	-0,4%
CH ₄ net ^(a)	2 807	2 804	2 287	2 275	-0,1%	-0,5%
N ₂ O hors UTCATF ^(c)	220	217	130	128	-1,1%	-1,5%
N ₂ O net ^(a)	230	228	140	137	-1,0%	-2,0%
HFC	4,4	4,4	14	13	0,0%	-8,2%
PFC	5,2	5,2	0,6	0,6	0,0%	-0,7%
SF ₆	95	95	17	17	0,0%	1,3%
NF ₃	1,0	1,0	0,6	0,6	0,0%	0,0%
CO ₂ e hors UTCATF ^{(b)(c)}	544	544	436	435	0,0%	-0,3%
CO ₂ e net ^{(a)(b)}	522	520	405	422	-0,4%	4,2%

(a) puits, changement d'utilisation des sols et sylviculture inclus

(b) Emissions CO₂ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 4^{ème} rapport du GIEC (GIEC 2007 - AR4).PRG: CO₂ = 1 ; CH₄ = 25 ; N₂O = 298 ; SF₆ = 22800 ; NF₃ = 17200 ; 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) unités des émissions CO₂ et CO₂e en Mt, CH₄ et N₂O en kt, HFC et PFC en Mt CO₂e, SF₆ et NF₃ en t

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

	année 1990		année 2019		1990	2019
	en mars 2021	en mars 2022	en mars 2021	en mars 2022	écart entre les deux versions	
Population (1000 hab.) ^(e)	58 248	58 248	67 054	67 054	0,0%	0,0%
PIB (10 ⁹ € courants) ^(e)	1 054	1 092	2 426	2 438	3,6%	0,5%

(e) source INSEE

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 2018, les observations suivantes sont émises :

- Dans cette nouvelle édition, de 1990 à 2019, les évolutions des émissions nettes exprimées en CO₂ changent de façon significative (-16,2 % actuellement vs -21,6 % dans l'édition précédente), due notamment à la réduction de l'estimation du puits des forêts restant forêts pour 2019 (+21 Mt CO₂),
- Les changements sont en revanche très faibles voire marginales sur les émissions hors UTCATF des divers gaz à effet de serre dont les évolutions 1990-2019 sont quasi égales entre les deux dernières éditions, sauf pour les HFC qui ont un écart de +195 % entre 2019 et 1990 cette édition alors qu'il était de +222 % dans l'édition précédente,
- Au total, l'évolution des émissions exprimées en CO₂ équivalent hors UTCATF entre 1990 et 2019 varient de -19,9 % dans l'édition précédente à -20,1 % pour l'édition 2022, alors que l'évolution des émissions UTCATF inclus varient de -22,4 % l'édition passée à -18,8% pour cette édition pour les mêmes raisons que celles évoquées dans le premier point.

Tableau 236 : Écart en évolution entre la version de mars 2021 et celle de mars 2022 - périmètre Kyoto

EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE (périmètre Kyoto^(g))

source CITEPA / format CCNUCC (*) - mars 2022		serre/comp-méth.xlsx	
Substance	Ecart 2019/1990		
	en mars 2021	en mars 2022	
Gaz à effet de serre direct			
CO ₂ hors UTCATF ^(c) dont CO ₂ indirect	-18,0%	-18,0%	
CO ₂ net ^(a)	-22%	-16%	
CH ₄ hors UTCATF ^(c)	-19%	-19%	
CH ₄ net ^(a)	-19%	-19%	
N ₂ O hors UTCATF ^(c)	-41%	-41%	
N ₂ O net ^(a)	-39%	-40%	
HFC	222%	195%	
PFC	-88%	-88%	
SF ₆	-82%	-82%	
CO ₂ e hors UTCATF ^{(b)(c)}	-20%	-20%	
CO ₂ e net ^{(a)(b)}	-22%	-19%	

(a) puits, changement d'utilisation des sols et sylviculture inclus

(b) Emissions CO₂ équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 4^{ème} rapport du GIEC (GIEC 2007 - AR4).

PRG: CO₂ = 1 ; CH₄ = 25 ; N₂O = 298 ; SF₆ = 22800 ; NF₃ = 17200 ;

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) unités des émissions en kt sauf CO₂ et CO₂e en Mt

(f) Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

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

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 237 : Suivi des améliorations méthodologiques envisagées sur les inventaires

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Action	SECTEUR	Modifications / améliorations envisagées	GES	PA	déc-21	déc-22	déc-23
G-2		Travail transversal sur les émissions de ML et de PM pour les plus gros émetteurs		x (PM, ML)	X	X	X
G-13		Disponibilité et prise en compte de données import-export des douanes			X	X	X
G-14		Prise en compte du dernier guide EMEP / EEA		X	X	X	X
G-15		Investigations sur les affinements GIEC 2019 (préparation en 2021, application à partir de 2022)	X		X	X	X
ENERGIE							
1-1	Bilan de l'énergie	Consolidation des consommations d'énergie dans l'industrie en concertation avec le SDES en particulier sur les produits pétroliers et les gaz industriels	x	x	X	X	X
1-8	Résidentiel / Tertiaire	Développement d'un parc d'équipements de chaudières fioul et GN pour le R/T (et facteurs d'émission associés) et son évolution dans le temps. Et distinction FOD à basse teneur en S. Possible relance du sujet dans le cadre d'un GT (NB : EF condition réelle à considérer).		x	X (si info disponible)	X (si info disponible)	
1-21	Transport routier	Amélioration routier : suivi évolution guide EMEP/EEA et/ou COPERT, etc.		x	X	X	X
1-28	Combustion du bois / résidentiel	MAJ des méthodologies émissions de la combustion du bois dans le résidentiel, notamment les pellets, mise à jour du parc des équipements, question des condensables....		x	X (si info disponible)	X	X
1-29.2	Stockage PP	Travail avec la profession sur les caractéristiques des bacs de stockage des produits pétroliers (terminaux pétroliers) (cf. aussi bureau DGPR sur le sujet via le BQA)		x (COVNM)	X	X	
1-38	Maritime	MAJ des répartitions des consommations domestiques/internationales	X	X	X	X	
1-41	Mines de charbon	Suite à la revue NECD 2017, ajout des émissions de PM liées à la manutention et au stockage du charbon		x (PM)	X (si info disponible)	X (si info disponible)	
1-59	Chaudières au bois hors résidentiel	- les installation 20-50 MW : réviser les FE NOx et TSP de la biomasse en cohérence avec la méthodologie Chauffage Urbain (fait) -installations 1-20 MW : GT ADEME/CIBE/CITEPA pour réviser les FE polluants		x	X (si info disponible)	X (si info disponible)	
1-60	Aérien	Amélioration continue TARMAAC : FE PM utilisation de la méthode OACI et autres évolutions...	x	x	X	X	
1-62	Auto-conso des méthaniseurs	Prise en compte des émissions liées aux moteurs consommant le biogaz des méthaniseurs à la ferme (auto-cosommation).	x	x	X	X	
1-64	Energie	Mise à jour des caractéristiques des combustibles gaz naturel et biogaz Fin 2020 prise en compte d'une RE (révision d'émissions) sur les HAP et PCDD du bois résidentiel, lors de la revue NECD 2020 (T1). Investigations pour T2 pour la suite 2021 et après ?	X	X	X	X	
1-66	Energie / résidentiel			X	X	X	
1-69	Fluvial	Améliorations du transport fluvial : prise en compte du parc réel...	X	X	X	X	
1-70	Torchage du GN	Ajout des émissions de polluants pour le torchage des terminaux méthaniers et stations de stockage du gaz naturel.	X	X	X	X	
1-72	Extraction de pétrole	Améliorer le niveau de la méthodologie avec des FE à la France	X	X	X	X	
1-73	Sidérurgie	Estimation des émissions de métaux lourds de la combustion des gaz résiduels de sidérurgie		X	X	X	
PROCEDES INDUSTRIELS							
2-18	Solvants	Disparition des statistiques production produits contenant des solvants. Extension et travail transversal sur l'ensemble des secteurs consommateurs de solvants.		x (COVNM)	X	X	
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 (CO)	X	X	
2-46	PM BTP	Suite revue NECD 2019, besoin de révision des FE PM du BTP		x (PM)	X	X	
2-47	Equipements électriques	Améliorations des estimation de SF6 de la fin de vie des équipements électriques.	X		X	X	
2-48	Sidérurgie- Autres ateliers	Sidérurgie : estimer les émissions de métaux lourds des autres ateliers (hors cokerie, agglomération, haut-fourneau, four O2, four électrique)		X	X	X	
2-51	Production de Nickel	Production de Nickel – examen de l'ajout d'émissions SOx, avec le nouveau GB EMEP 2019.		X	X	X	
2-53	Production de fonte	Production de fonte : revues des émissions de SO2, NOx, CO au regard des nouvelles informations du GB EMEP 2019.		X	X	X	
2-56	Manutention & stockage combustible	Manutention et stockage des combustibles liquides autres que l'essence, hormis les terminaux pétroliers – Emissions de COVNM		x (COVNM)	X	X	
2-59	GF Territoires Outre-mer	Travail spécifique sur les émissions des gaz fluorés sur les territoires d'outre-mer afin de prendre en compte les spécificités de ces territoires.	X		X	X	X
2-60	Solvant - Gel hydroalcoolique	Investigations sur des estimations de COVNM des gel hydroalcooliques (avec forte augmentation en 2020).		X	X	X	
2-62	Déshydratation de la luzerne	Actualisation des FE pour la déshydratation de la luzerne, suite mise à jour du guide E-PRTR de la profession.		X	X	X	
2-63	Consommations de bitume	Actualisation de la répartition des consommations de bitume (Asphalt roofing, Route et Enrobage)		X	X	X	
2-64	Réfrigération industrielle (HFC)	Mise à jour de certains paramètres du froid industriel	X		X	X	
2-65	Régénération SF6	Ajout des émissions de SF6 issues du procédé de régénération du SF6	X		X	X	
2-67	Production de produits explosifs	Suppression des d'émissions au niveau de la production d'explosifs, mais évaluer l'exhaustivité des émissions à l'usage si besoin/significatif, e.g. usages airbag, explosif anti-taupe...		X	X	X	

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

	AGRICULTURE						
4-2	Brûlages agricoles	Recherche de données d'activité afin de prendre en compte différentes formes de brûlage agricoles .	x	x	X	X	X
4-5f	Elevage (3B) (Gestion des déjections)	Amélioration de la prise en compte de pratiques existantes pour la réduction des émissions d'ammoniac (couverture de fosses, stations de traitement, et laveur d'air)		x (NH3)	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 (NH3)	X	X	
4-10	Elevage (3B)	Veille sur les FE des porcins (en particulier travaux récent CORTEA et BDD ELFE)	N2O, CH4	x (NH3)	X (si données)	X (si données)	
4-21	Pesticides	Possibilité de réaliser un inventaire des émissions de pesticides dans l'air		X	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 données)	X (si données)	
4-24	Particules liées au travail du sol	L'estimation des émissions de particules liées au travail du sol pourrait être affinée en passant à un niveau de méthodologie Tier 2.		X	X	X	
4-25	Compostage des déjections animales	A l'heure actuelle, nous ne savons pas estimer la part des déjections animales produites en France qui sont compostées	X	X	X	X	X
UTCATF							
5-1	DOMCOM	Amélioration de la méthodologie pour le suivi UTCATF dans les DOM	x CO2		X	X	X
5-3	Suivi des terres	Mise à jour du suivi des terres : préparation de l'après TERUTI (pas d'enquête 2016...)	x CO2		X (DEV)	X (DEV)	X (DEV)
5-10	Bilan forêt - Prélèvements	Mise en cohérence du bilan forêts pour les années récentes : prélèvement versus croissance et mortalité. Attention particulière sur le bois énergie.	x CO2		X	X	X
5-11	Bilan forêt – Cinétique racinaire	Suite au GT forêt du 20/06/2018, il a été proposé de tester l'application d'une cinétique d'ordre 1 pour la biomasse racinaire en forêt.	x CO2		X	X	X
5-12	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		X	X	X
5-15	Cultures pérennes	Révision des émissions de GES des cultures pérennes, suite revue CCNUCC 2019 (Métropole fait en 2020, suite pour OM à faire).	X		X	X	X
5-17	Zones humides	Affinement des émissions des zones humides	X		X	X	X
5-18	Brûlage sur site des récoltes de bois	Suite à des remarques du MAA et de l'ONF, il semble que l'estimation actuelle dans l'inventaire du brûlage sur site d'une partie des rémanents de récoltes de bois, soit en fait largement surestimée et ne corresponde pas à ce qui se passe réellement, surtout en forêt publique.	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 bien une alternative.	X		X (Guyane)	X (autres)	
5-21	Sols minéraux	Possibilités d'amélioration des estimations actuelles de carbone des sols minéraux	X		X	X	X
5-22	UTCATF GIEC 2019	Analyse du GIEC 2019 pour UTCATF et identification des compartiments carbone concernés par des mises à jour.	X		X	X	X
5-23	UTCATF Nouvelle Calédonie	Affinement de l'UTCATF Nouvelle Calédonie, suite recommandation de la revue CCNUCC	X		X	X	
DECHETS							
6-8b	Barbecues	Rechercher les données pour estimer les émissions de cette activité. Application des FE du guide EMEP 2019 par défaut après analyse. Par la suite investigation pour affinement des estimations.	x	x	X	X	
6-12b	Feux accidentels /batiments	Suite à la revue NECD 2017, les émissoins liées aux feux d'immeubles et bâtiments ont été calculées en 2018. Reste le cas des PCDD-F (besoin FE national car FE EMEP trop fort). Reste l'OM.	x	x	X	X	X
6-20	Valorisation et torchage du biogaz issu des déchets	Les émissions de la combustion du biogaz lors de sa valorisation / torchage sont à prendre en compte. Déjà fait pour les ISDND, mais pas pour les méthaniseurs de déchets OM, de boues de STEP in situ, et boues des IAA.	x	x	X	X	X
6-21	Statistiques	Travail commun avec le SDES sur les statistiques du traitement des déchets par filière.	x	x	DEV non budgété	X	X
6-22	Traitement des eaux	Exploitation des données site à site des STEU (convention à créer pour accès BDD)	x		DEV non budgété	X	
6-24 b	Dioxine de l'incinération - b)	6.24.b - Nouveau sujet possible à explorer : dioxine bromé (retardateur de flamme) mais pas une obligation pour Goteborg (que dioxine chloré)		x (POP)	DEV non budgété	DEV non budgété	
6-26	Traitement des eaux	Filtres plantés :aucune émission de CH4 estimé dans l'inventaire. Les LD 2006 proposent un FE pour lagunes mais appliqué que aux lagune naturel. Rem : Infos spécifiques aux filtres plantés sur les FE disponibles dans le supplément 2013.	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 éléments de FE dans le supplément 2013 (constructed wetlands) et dans les études IRSTEA, et GIEC 2019.	x		DEV non budgété	X	X
6-33	Stockage de boues de dragage	Les émissions associées aux boues de dragage ne sont pas prises en compte actuellement (pas explicitement citées dans GIEC 2006 mais sont citées dans Raffinement 2019).	x		DEV non budgété	X	X
6-34	Stockage déchets industriels hors ITOM	Les centre de stockage dédiés aux déchets industriels non inertes ne sont pas considérés dans l'inventaire. 1°) s'assurer de l'existence de tels sites (AC) 2°) Les prendre en compte dans l'inventaire (le cas échéant) (DEV)	x		X (étape 1)	X	
6-35	Maturation des mâchefers	Les plateformes de maturation des mâchefers ne sont pas estimées séparément dans l'inventaire. Pas de méthodologie dans GIEC 2006.			DEV non budgété	X	X
6-36	Brûlage de câbles	Les données d'activité liées au brûlage de cables doivent être actualisées (valeur constante très incertaine sur toute la série temporelle).		X (PCDD-F)*	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	X	
6-41	Autres feux ouverts	Incendies 2019 cathédrale Notre dame (plomb) (ok en 2020), reste Lubrizol et des FE à connaître si possible.	X	X	X (si données)	X (si données)	
6-45	Valorisation/torchage du gaz de décharge	Suite revue UNFCCC sept 2021, besoin d'investiguer sur les sites déclarant des quantités de méthane torché/valorisé par le calcul	X		X	X	

De plus, les remarques formulées lors des revues internationales 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 en cellules bleues sont celles pour lesquelles il n'y a pas eu d'action encore réalisé et celles en vert représentent les recommandations qui ont été partiellement réalisées. Enfin, les cellules transparentes 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.).

2^{ème} PARTIE

Informations supplémentaires requises dans le cadre de l'article 7.1 du Protocole de Kyoto

MTE / DGEC : Joseph Hajjar, Jonathan Hess, Elizabeth Pagnac-Farbiaz

CDC : Sik-Keat Lao, Malick Mbath

Citepa : Etienne Mathias, Colas Robert, Mélanie Juillard, Jean-Pierre Chang

11 UTCATF dans le cadre du Protocole de Kyoto (« KP-LULUCF »)

11.1 Informations générales

L'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF²⁹) est un secteur particulier dans le cadre des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre (GES) notamment parce que le captage de GES peut être supérieur à l'émission de GES. Ainsi, contrairement à la plupart des autres secteurs de l'inventaire, le bilan émission-captage de ce secteur peut constituer un puits et non une source de GES. De ce fait, l'UTCATF a actuellement un statut particulier dans le cadre des objectifs climat et est régi par des règles spécifiques. En effet, le total UTCATF ne fait pas partie des objectifs fixés pour le Protocole de Kyoto dans les « quantités attribuées ». Par contre, l'UTCATF est incorporé via les articles 3.3 et 3.4 du Protocole de Kyoto, qui permettent une prise en compte partielle de ce secteur.

La définition des activités 3.3 et 3.4 apparaît dans les accords de Marrakech de novembre 2001, ceux de Montréal de décembre 2005, ceux de Durban de 2011 et dans les lignes directrices de rapportage UTCATF de 2003 et leur complément de 2013, établies par le groupement intergouvernemental d'experts sur le climat (GIEC). De manière simplifiée, il est dit :

- **Sont rapportées sous l'article 3.3**, les terres ayant subi depuis le 1^{er} janvier 1990, soit un boisement-reboisement³⁰, soit un défrichement. Le rapportage sous cet article est obligatoire.
- **Sont rapportées sous l'article 3.4**, les terres qui ne sont pas rapportées sous l'article 3.3 et qui sont ou ont été gérées (forêt, culture, prairie, zone humide) durant une des périodes d'engagement. Au niveau international, pour la seconde période d'engagement, le rapportage sous cet article est obligatoire pour la forêt (Annexe à la décision 2/CMP.7, para7) et pour les terres rapportées pendant la première période d'engagement, mais pas pour les autres types de terres.

Les estimations fournies concernent les premières années de la seconde période d'engagement :

Tableau 238 : Emissions et absorptions dans le cadre des articles 3.3 et 3.4 du Protocole de Kyoto

rapportageUTCATF.xls /NIR_KP

Gg CO ₂ e	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Activités article 3.3	-2 184	-2 180	-1 504	-1 961	-1 568	-1 874	-1 793	-2 029
A.1. Boisement-reboisement	-13 871	-13 968	-13 392	-13 738	-13 443	-13 846	-13 862	-14 196
A.2. Défrichement	11 687	11 788	11 888	11 777	11 874	11 972	12 069	12 167
Activités article 3.4	-53 704	-47 146	-43 293	-33 077	-23 950	-20 602	-18 838	-19 728
B.1. Gestion forestière sans PLR	-48 490	-42 289	-39 339	-29 649	-20 514	-17 547	-16 094	-17 083
B.1 Produits Ligneux Récoltés (PLR)	-5 214	-4 857	-3 953	-3 428	-3 437	-3 054	-2 743	-2 645
B.3. Gestion des prairies	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B.2. Gestion des cultures	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B.4. Revégétalisation	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B.5 Drainage/remise en eau des z. hum.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

²⁹ LULUCF en anglais : Land use Land-use change and forestry

³⁰ Selon la définition donnée dans les accords de Marrakech, il est question de boisement lorsque la terre n'était plus en forêt depuis plus de 50 ans et de reboisement lorsqu'elle n'était pas en forêt en 1990

S'appuyant sur la définition fournie dans la Décision 11/CP.7 des accords de Marrakech, la France a choisi les paramètres suivants pour la définition de la forêt. Cette définition est la même que celle utilisée par l'organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

Tableau 239 : Sélection des paramètres pour la définition de « Forêt » pour le Protocole de Kyoto

Paramètre	Fourchette	Valeur sélectionnée
Surface minimale	0,05 - 1 ha	0,5 ha
Couverture minimale du houppier	10 - 30 %	10 %
Hauteur minimale	2 - 5 m	5 m

Définition de la forêt extraite de l'annexe 1, Décision 11/CP.7, Accords de Marrakech

a) On entend par «forêt» une terre d'une superficie minimale comprise entre 0,05 et 1,0 hectare portant des arbres dont le houppier couvre plus de 10 à 30 % de la surface (ou ayant une densité de peuplement équivalente) et qui peuvent atteindre à maturité une hauteur minimale de 2 à 5 mètres. Une forêt peut être constituée soit de formations denses dont les divers étages et le sous-bois couvrent une forte proportion du sol, soit de formations claires. Les jeunes peuplements naturels et toutes les plantations composées d'arbres dont le houppier ne couvre pas encore 10-30% de la superficie ou qui n'atteignent pas encore une hauteur de 2 à 5 mètres sont classés dans la catégorie des forêts, de même que les espaces faisant normalement partie des terres forestières qui sont temporairement déboisés par suite d'une intervention humaine telle que l'abattage ou de phénomènes naturels mais qui devraient redevenir des forêts.

Il est à préciser que la France a décidé que les peupliers étaient inclus dans la catégorie « forêt » ainsi que les taillis à courte rotation (TCR) dans la mesure où ils répondent aux critères de surface, couverture et hauteur présentés ci-dessus.

11.1.1 Activités retenues dans le cadre de l'article 3.4 du Protocole de Kyoto

Pour la première période d'engagement, la France a choisi de prendre en compte l'activité « Gestion des forêts » au titre de l'article 3, paragraphe 4 du Protocole de Kyoto. Cette activité est devenu ensuite obligatoire pour la seconde période d'engagement.

Les autres activités (gestion des prairies, gestion des cultures, restauration du couvert végétal, drainage des zones humides et réhumidification) n'ont pas été retenues, pour les deux périodes d'engagement.

11.1.2 Description de la manière dont les définitions de chaque activité retenue au titre de l'article 3.3 et de l'article 3.4 ont été mises en œuvre et appliquées de manière cohérente au fil du temps

Afin de s'assurer de la continuité des définitions dans le temps, les données utilisées sont autant que possible issues des mêmes sources statistiques (données forestières de l'IFN, statistiques de récoltes du SSP/AGRESTE, consommation énergétique des bilans du SDES, changements d'affectation des sols issus des enquêtes TERUTI du SSP) ce qui assure une homogénéité dans les méthodes de collecte et les formats de restitution.

Afin de ne réaliser aucun double-compte, les activités 3.4 et 3.3 sont calculées en cohérence, de manière à ce que les surfaces en Gestion Forestière, Boisements/Reboisements et Déforestation comptées dans un article soient bien exclues des autres.

11.1.3 Description des conditions de priorité et / ou de hiérarchie entre les activités de l'Article 3.4, et cohérence dans la classification des terres

La France a élu uniquement l'option Gestion Forestière de l'article 3.4. Cette option est prioritaire sur les autres options, si une terre est reconnue en gestion forestière et qu'elle n'appartient pas au cadre de l'article 3.3 alors elle est reportée sous l'article 3.4 option Gestion Forestière.

Pour les autres options, la hiérarchie n'est pas établie car elles ne sont pas retenues.

11.2 Information sur les terres

11.2.1 Unités spatiales utilisées pour le rapportage des surfaces relatives à l'article 3.3

Comme pour les autres secteurs d'activités, le périmètre géographique concerné par le Protocole de Kyoto est constitué de la France métropolitaine et des territoires français d'Outre-mer faisant partie de l'UE.

Extrait de la Décision 16/CMP.1, Accords de Montréal

20. Les systèmes d'inventaires nationaux prévus au paragraphe 1 de l'article 5 doivent permettre de **localiser les parcelles (areas)** faisant l'objet d'activités liées à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie visées aux paragraphes 3 et 4 de l'article 3 et des informations sur ces parcelles sont communiquées par chaque Partie visée à l'annexe I dans ses inventaires nationaux conformément à l'article 7. Ces informations sont examinées conformément à l'article 8.

La France réalise le bilan de ses estimations par région administrative ce qui correspond aux 22 anciennes régions métropolitaines et aux 5 régions d'Outre-Mer incluses dans l'Union européenne (cf. § 11.2.3).

L'unité de surface utilisée pour déterminer les superficies de boisement, de reboisement et de déboisement est le point d'échantillonnage, dont le coefficient d'extrapolation varie selon les années et les régions (entre environ 100 et 300ha).

11.2.2 Méthodologie utilisée pour la construction des matrices de transitions

La méthodologie est similaire à celle adoptée pour le rapportage à la Convention et est détaillée dans la section UTCATF de ce rapport. Quelques points sont cependant rappelés ou précisés dans les paragraphes suivants :

- **Matrices de durées différentes** : il est important de noter que, en plus des matrices de transition de 20 ans adoptées pour la Convention, le rapportage pour le Protocole de Kyoto nécessite soit des matrices de changement entre 1990 et l'année d'inventaire soit des matrices de 19 ans pour l'année de rapportage 2008, de 20 ans pour l'année 2009, de 21 ans

pour l'année 2010, etc.

- **Matrices régionalisées** : il faut également rappeler qu'en vue de l'application du Protocole de Kyoto, une approche géographique fine a été mise en place pour la France depuis la soumission en avril 2009 pour la Convention (au niveau de la région administrative). Cette échelle est donc désormais utilisée aussi bien pour estimer les résultats pour la Convention et le Protocole de Kyoto.

Figure 185 : Résolution géographique pour l'estimation des résultats pour le Protocole de Kyoto



11.2.3 Cartes et/ou base de données pour identifier les emplacements géographiques

L'ensemble des émissions et absorptions sont estimées à une échelle régionale pour le rapportage au titre du Protocole de Kyoto, à l'exception de l'estimation des produits bois. Le rapportage était réalisé à ce même niveau géographique lors de la première période d'engagement mais la difficulté de maintenir ce système lors de la seconde période d'engagement a entraîné une simplification, les tableaux sont désormais fournis sans leur détail géographique dans les tables CRF de rapportage. Néanmoins, les résultats avec un détail géographique régional sont présentés en annexe dans le fichier LULUCF_Background.xlsx.

11.3 Informations spécifiques aux activités

11.3.1 Méthodes de variation du stock de carbone et d'estimation des émissions et absorptions de GES

11.3.1.1 Description des méthodologies et des hypothèses prises en compte

La méthodologie est similaire à celle adoptée pour le rapportage à la Convention, cf. section 7 UTCATF du rapport et autres éléments plus détaillés dans la section UTCATF de ce rapport.

Concernant les réservoirs de carbone, la France considère les réservoirs biomasse vivante (aérienne et souterraine), biomasse morte (bois mort et litière) et sol.

Spécifiquement pour le Protocole de Kyoto, conformément aux lignes directrices, le réservoir de carbone « biomasse morte » a été séparé en deux réservoirs « litière » et « bois mort », ce qui n'a pas nécessité de modifications méthodologiques, ces deux réservoirs étant estimés séparément puis agrégés pour le rapportage au format Convention.

11.3.1.2 Justification pour l'absence d'estimation de certains flux de GES ou de variation de certains réservoirs de carbone sous l'article 3.3 et 3.4.

Sur les terres forestières sans changement, concernées par l'article 3.4 pour les réservoirs de carbone « sol » et « litière », aucune variation de stock n'est considérée, les données existantes étant encore trop incertaines. Cette hypothèse est conservatrice dans la mesure où les premières estimations disponibles tendent à mesurer un puits.

Les réservoirs de carbone sols et litière en forêt semblent s'accroître en même temps que la biomasse vivante, ce qui correspond aux estimations faites en 2008 et 2009 pour le ministère de l'agriculture dans le cadre des projections à l'horizon 2020 pour la 5^e communication nationale et constituent donc un puits. Par mesure « conservatoire », pour ces réservoirs « sol » et « litière » il a été décidé de ne pas rapporter de variation de stock, ce qui correspond à une méthode de niveau 1.

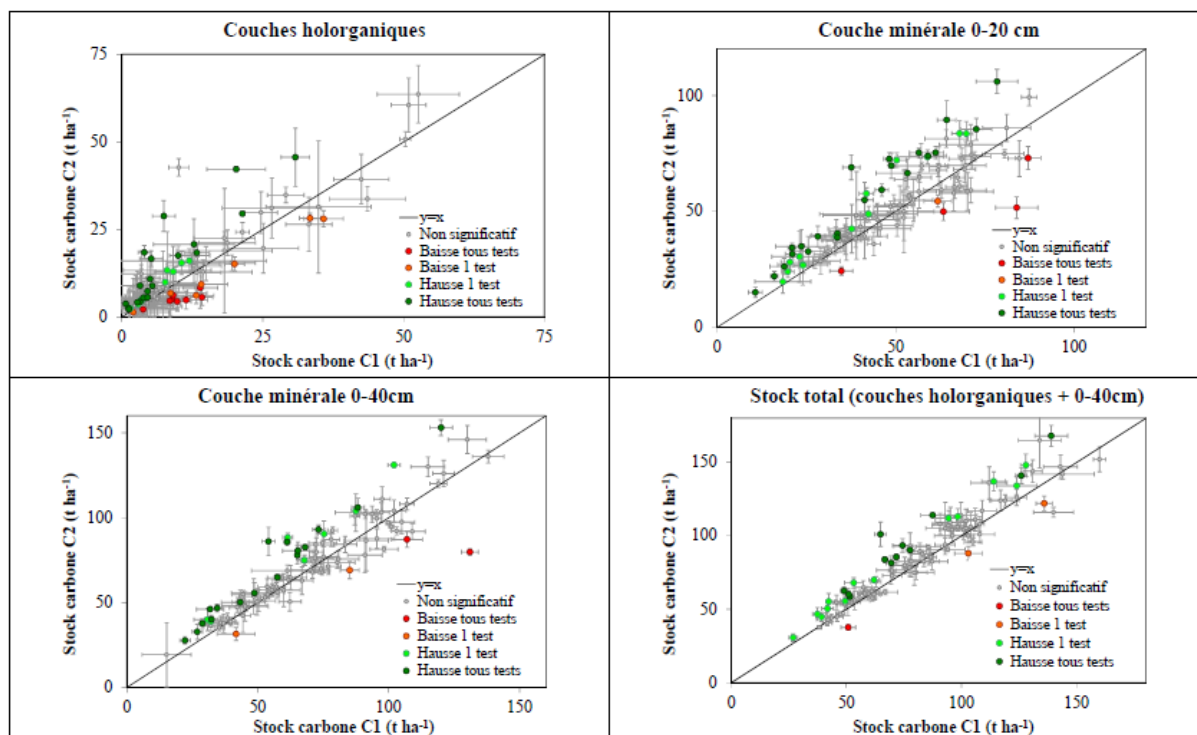
Des travaux concernant les sols et la biomasse morte se sont achevés courant l'année 2013 pour confirmer ces justifications au niveau français sur la base de mesures observées en forêt (Évolution du carbone des sols forestiers de France métropolitaine - Détection et quantification à partir des données mesurées sur le réseau RENECOFOR, Rapport final - juillet 2013, ONF / Université Catholique de Louvain). Cette étude conclut ainsi « Au terme de cette étude, il apparaît que les sols des placettes du réseau RENECOFOR se sont en moyenne comportés comme des puits de carbone durant les 15 dernières années et que cette tendance est nettement plus prononcée pour les placettes résineuses (à l'exception de celles en douglas) que pour les placettes feuillues ».

L'étude fournit de très nombreux résultats et analyses sur l'évolution du carbone du sol et de la litière pour la centaine de parcelles du réseau de suivi des forêts RENECOFOR, cette étude a donné lieu à une publication scientifique³¹ récemment.

Les graphiques ci-après donnent un aperçu graphique des hausses et baisses observées sur chacune des parcelles d'étude et concluent à une hausse significative des stocks de carbone en forêt aussi bien dans la litière que dans la matière organique du sol des forêts françaises.

³¹ Jonard M., Nicolas M., Coomes D.A., Caignet I., Saenger A., Ponette Q., 2017. Forest soils in France are sequestering substantial amounts of carbon. *Science of the Total Environment*, 574:616-628, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.028

Figure 186 : Représentation de l'évolution du stock de carbone des sols forestiers (1990-2010)



Représentation du stock de carbone à la deuxième campagne en fonction de celui de la première campagne pour les différentes couches et mise en évidence des placettes pour lesquelles des différences significatives ont été détectées par un ou tous les tests. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard.

Ces travaux confirment avec beaucoup plus de poids les estimations déjà produites antérieurement sur d'autres travaux basés sur la modélisation. Mais d'autres travaux au niveau Européen montraient également, pour la France, qu'en moyenne, les sols forestiers ont été des puits de carbone depuis la 2^e moitié du 20^e siècle et vont le rester dans les prochaines décennies (cf. Liski et al. 2002³², Ciais et al. 2008³³ et Luysaert et al. 2010³⁴), basés sur des mesures de productions nettes et de modèles.

Il est intéressant de noter que cette étude a permis des recherches très abouties sur les causes des évolutions du carbone du sol ce qui est permis grâce aux très nombreuses informations compilées par placettes sur la météorologie, la pédologie, les pratiques sylvicoles sans pour autant pouvoir conclure quelles étaient ces principales causes. Ce constat tend à laisser penser que les approches par modélisation peuvent difficilement appréhender la réelle dynamique des sols forestiers et que des travaux supplémentaires seront nécessaires pour modéliser ces flux de manière fiable, une approche basique étant d'ores et déjà à exclure au vu de ces résultats.

Sur les terres converties en forêt il est donc considéré que le changement n'induit pas de perte de carbone pour les réservoirs « bois mort » et « litière » (réservoirs dont les stocks de carbone ne sont estimés que pour les terres forestières) mais au contraire un gain puisque les stocks sont constitués lors de cette conversion. Pour les « sols » les flux sont estimés de la même manière que pour toutes les conversions, il peut s'agir d'une perte ou d'un gain de carbone selon l'utilisation initiale et la zone géographique concernée.

³² Liski, J., Perruchoud, D., Karjalainen, T., 2002. Increasing carbon stocks in the forest soils of Western Europe. *For. Ecol. Manag.* 169, 159-175.

³³ Ciais, P., Schelhaas, M.J., Zaehle, S., Piao, S.L., Cescatti, A., Liski, J., Luysaert, S., Le-Maire, G., Schulze, E.D., Bouriaud, O., Freibauer, A., Valentini, R., Nabuurs, G.J., 2008. Carbon accumulation in European forests. *Nat. Geosci.* 1, 425-429.

³⁴ Luysaert, S., Ciais, P., Piao, S.L., Schulze, E.D., Jung, M., Zaehle, S., Schelhaas, M.J., Reichstein, M., Churkina, G., Papale, D., Abril, G., Beer, C., Grace, J., Loustau, D., Matteucci, G., Magnani, F., Nabuurs, G.J., Verbeeck, H., Sulkava, M., van der Werf, G.R., Janssens, I.A., 2010. The European carbon balance. Part3: forests. *Glob. Chang. Biol.* 16, 1429-1450.

11.3.1.3 Questions relatives à la distinction de la part « indirecte » ou « naturelle » des émissions et absorptions de GES

Les flux de GES de l'inventaire français pour le secteur UTCATF sont estimés à partir d'inventaires et d'enquêtes de terrain, il n'est donc pas possible de séparer la part « naturelle » ou « indirecte » des flux estimés sur les terres gérées. Les perturbations naturelles ou anthropiques sont donc incluses dans l'inventaire national mais la méthode ne permet pas de distinguer les causes des flux.

11.3.1.4 Recalculs depuis la précédente soumission

Les modifications apportées aux résultats pour la CCNUCC impactent de manière logique et directe les résultats au format Kyoto. Pour rappel, les principales améliorations relatives à la forêt sont les suivantes :

- Dans l'édition 2021 du NIR, la dernière campagne de l'Inventaire Forestier National (IFN) n'était pas disponible et les valeurs concernant la croissance et la mortalité en forêt n'avaient pu être actualisées pour les années récentes. Pour l'édition 2022, les deux dernières campagnes de l'IFN (2014-2018 relative à 2016 ; 2015-2019 relative à 2017) ont été prises en compte pour estimer les années 2016 et 2017. Cette mise à jour a de très forts impacts sur le bilan forestier. Les années 2018 à 2020 sont estimées faute de données IFN, dans la continuité du niveau observé lors de la dernière année disponible.
- Les consommations de bois énergie ont été mises à jour pour être en phase avec le Bilan de l'énergie (et notamment son volet Outre-mer).
- Pour la Guyane : le bilan forestier a été ajusté en mettant en lien les dégâts en forêt avec les données de récolte et en incluant une diminution progressive de la part des dégâts occasionnés. Les récoltes ont été mises à jour en intégrant les récoltes annuelles effectives.
- Les surfaces de déforestation en Guyane après 2015 ont été recalculées, ce qui impacte légèrement les résultats des terres devenant cultures à partir de 2016.

11.3.1.5 Estimations des incertitudes

L'estimation des incertitudes relatives aux émissions/absorptions liées aux variations de stock de carbone de l'UTCATF est présentée dans la section UTCATF, par sous-secteur (voir aussi annexe 7).

11.3.1.6 Information supplémentaire sur la méthodologie

Aucune information supplémentaire.

11.3.1.7 Informations sur l'année d'apparition d'une activité, si après 2008

Les activités de boisement et de déboisement associés à l'article 3.3 ainsi que l'activité gestion forestière sont traitées annuellement dans l'inventaire français et rapportées dans les tables de reportages CRF. Les surfaces sont notamment présentées dans les tables NIR 2.

Tableau 240 : surfaces rapportées au titre du protocole de Kyoto depuis 1990

rapportageUTCATF.xls /NIR_KP

Année	Article 3.3				Article 3.4
	Déforestation (D) (1000 ha)		Boisement/Reboisement (AR) (1000 ha)		Gestion forestière (FM) (1000 ha)
	Nouvelle surface	Surface cumulée depuis 1990	Nouvelle surface	Surface cumulée depuis 1990	Surface
1990	35	35	109	109	21 664
1991	33	68	121	230	21 637
1992	31	98	132	363	21 611
1993	29	127	141	504	21 588
1994	67	195	108	612	21 526
1995	29	223	99	711	21 501
1996	31	254	89	800	21 477
1997	30	284	77	877	21 452
1998	28	312	73	950	21 428
1999	38	350	71	1 021	21 397
2000	22	372	54	1 075	21 380
2001	29	401	72	1 147	21 356
2002	28	429	63	1 210	21 334
2003	25	454	45	1 255	21 312
2004	37	491	64	1 319	21 279
2005	49	540	82	1 401	21 235
2006	58	598	99	1 500	21 183
2007	66	664	115	1 615	21 123
2008	24	689	71	1 685	21 026
2009	58	747	61	1 746	20 970
2010	43	790	45	1 791	20 930
2011	36	826	63	1 854	20 896
2012	36	863	62	1 916	20 862
2013	36	899	62	1 978	20 828
2014	36	936	61	2 039	20 795
2015	36	972	61	2 099	20 761
2016	36	1 008	60	2 160	20 727
2017	36	1 045	60	2 219	20 694
2018	36	1 081	59	2 279	20 660
2019	36	1 117	59	2 338	20 626
2020	36	1 153	59	2 396	20 593

11.3.1.8 Information sur le calcul des perturbations naturelles (ND)

Tel qu'indiqué dans le rapport initial (*initial report*) de 2015, la France souhaite élire les perturbations naturelles suivantes : tempêtes (*storms*), feux (*wildfires*), maladies (*pests*) et épisodes de sécheresse (*droughts*). Le calcul du niveau de fond (*background level* ou BL) prend uniquement en compte les feux de forêts, seules perturbations naturelles pour lesquelles nous disposons de données fiables. Ce niveau de fond (BL) est cohérent avec le niveau de référence forestier (FMRL). Ce niveau de fond (BL) est calculé pour la Gestion Forestière (FM, sous l'article KP 3.4) et pour les boisements-reboisements (AR, sous l'article KP 3.3), en appliquant la méthode indiquée dans le par.33 de l'annexe à la décision 2/CMP.7, note 7, c'est-à-dire en excluant les valeurs extrêmes par un processus itératif. Le BL ainsi calculé reflète tous les types de perturbations naturelles élus :

- les **feux** sont estimés dans l'inventaire (voir chapitre UTCATF) sur la base de données annuelles et régionalisées de surfaces brûlées et de biomasse ;
- La surmortalité des **tempêtes** est connue via les données de l'Inventaire forestier national fourni par l'IGN, qui permet de distinguer les chablis des tempêtes exceptionnelles ;
- La surmortalité liée aux **maladies** et aux **sécheresses** n'est pour l'instant pas distinguée au sein des résultats de l'inventaire forestier. Cette surmortalité n'est donc pas estimée à part dans le calcul du niveau de fond pour les perturbations naturelles. C'est un sujet d'amélioration possible du calcul.

France's Initial Report (2015) reflects its will to prepare for all possible Natural Disturbances (ND) that could affect its territories and may induce exceptional levels of emissions. France chose to elect all the ND types. This BL is consistent with the FMRL. This calculated BL takes into account wildfires,

the only ND for which sufficient data is available. ND Background Level (BL) for FM (Forest Management under KP 3.4) and AR (Afforestation and Reforestation under KP 3.3) is calculated using the method mentioned in Par.33 in Annex to Decision 2/CMP.7, note 7, i.e. excluding outliers with an iterative process.

11.4 Article 3.3

11.4.1 Éléments démontrant que les activités relevant de l'article 3.3 ont débuté le ou après le 1 Janvier 1990 et avant le 31 Décembre 2012 et sont directement induites par l'homme

Les données de suivi d'occupation des terres sont issues d'une enquête annuelle pour la France métropolitaine. Les changements sont estimés pour chaque année et ne sont rapportés dans le cadre de l'article 3.3 que les terres qui ont subi des changements depuis l'année 1990. Pour les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE pour lesquels le suivi des terres est réalisé à partir d'études par télédétection, l'année 1990 est moyennée à partir d'images collectées sur plusieurs années.

Sur la question des changements directement induits ou non par l'homme, il est tout d'abord considéré que tous les défrichements sont directement induits par l'homme.

Pour les boisements, la question est plus complexe et extrêmement discutée au niveau international notamment pour les terres boisées suite à la déprise agricole. La France a décidé, en s'appuyant sur la définition fournie dans la Décision 11/CP.7 des accords de Marrakech, que les boisements et reboisements des accrus naturels dus à la déprise agricole sont inclus dans l'article 3.3, dans la mesure où ces terres deviennent des forêts gérées. Ces transitions sont dues à des décisions politiques, donc induites par l'homme et ces nouvelles forêts, lorsqu'elles sont gérées, sont le résultat de la promotion par l'homme d'un ensemencement naturel. Cette définition n'inclut pas tous les boisements observés sur le territoire : en effet, les boisements situés sur zones humides et sur les autres terres ne sont pas considérés directement induits par l'homme et sont donc exclus du total. Les boisements rapportés sous l'article 3.3 et donc considérés comme directement induits par l'homme représentent près de 90 % des boisements totaux estimés sur le territoire français.

Définitions des boisements - reboisements extraits de l'annexe 1, Décision 11/CP.7, Accords de Marrakech

b) On entend par «boisement» la conversion anthropique directe en terres forestières de terres qui n'avaient pas porté de forêts pendant au moins 50 ans par plantation, ensemencement et/ou promotion par l'homme d'un ensemencement naturel

c) On entend par «reboisement» la conversion anthropique directe de terres non forestières en terres forestières par plantation, ensemencement et/ou promotion par l'homme d'un ensemencement naturel sur des terrains qui avaient précédemment porté des forêts mais qui ont été convertis en terres non forestières. Pour la première période d'engagement, les activités de reboisement seront limitées au seul reboisement de terres qui ne portaient pas de forêts à la date du 31 décembre 1989

11.4.2 Information sur la distinction entre récolte, dégradation et déforestation

En métropole, l'enquête TERUTI utilisée pour le suivi des terres relève deux paramètres importants : l'occupation et l'utilisation du sol. Lors d'une coupe franche (récolte), l'occupation ne correspond plus à des arbres mais l'utilisation demeure forestière. Il est ainsi possible de différencier des zones défrichées de surfaces récoltées.

En Outre-mer, le suivi des terres est réalisé par télédétection satellite sur la base d'images satellites correspondant aux années 1990, 2006, 2008, 2012 il n'est donc pas facile de déterminer si une perte de couverture forestière correspond à une récolte, une dégradation ou une déforestation. La plupart du temps l'occupation après la coupe est clairement visible s'il s'agit d'une zone d'orpaillage, de culture ou d'urbanisation. Lorsque le changement n'est pas clairement visible, de manière conservatrice, la superficie ayant perdu les arbres est classée en prairies ce qui signifie qu'elle est considérée comme un défrichement, cette hypothèse étant raisonnable en raison du faible niveau d'exploitation forestière sur tous ces territoires.

11.4.3 Information sur la taille et l'emplacement géographique des terres forestières ayant perdu leur couverture arborée, mais qui ne sont pas encore classées comme défrichées

En métropole, les terres ayant perdu leur couverture arborée sont classées en défrichement si le paramètre « utilisation des terres » relevé par l'enquête TERUTI indique aussi un changement d'utilisation.

En Outre-mer, toutes les terres ayant perdu leur couverture arborée sont directement classées en défrichement, cette approche étant conservatrice.

11.4.4 Information sur les provisions pour les perturbations naturelles

Aucune surface n'a été exclue au titre des provisions pour les perturbations naturelles.

11.4.5 Information sur les Produits Ligneux Récoltés (PLR)

L'ensemble des produits ligneux récoltés sur les terres déboisées au titre de l'article 3.3 sont considérés intégralement en oxydation immédiate.

Aucune récolte n'est prise en compte sur les terres boisées rapportées sous l'article 3.3.

11.4.6 Analyse de la conformité au titre de l'article 3.3

Le tableau ci-dessous présente l'analyse de la conformité de la France au titre des deux activités obligatoires de l'article 3.3, l'afforestation/reforestation (AR) et la déforestation (D) pour la seconde période d'engagement du Protocole de Kyoto.

Le bilan net de l'activité afforestation/reforestation (AR) observé sur la période est un puits de -13,789 MtCO₂e/an en moyenne (-110 MtCO₂e en cumulé).

Le bilan net de l'activité déforestation (D) observé sur la période est une source de 11,903 MtCO₂e/an en moyenne (95,222 MtCO₂e en cumulé).

Afforestation, Reforestation & Déforestation (	unité	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Moyenne 2013-2020	Somme 2013-2020
Afforestation / Reforestation (AR)	kt CO2e	-13 871	-13 968	-13 392	-13 738	-13 443	-13 846	-13 862	-14 196	-13 789	-110 315
Déforestation (D)	kt CO2e	11687	11788	11888	11777	11874	11972	12 069	12 167	11903	95 222
Bilan ARD	kt CO2e	-2 184	-2 180	-1504	-1961	-1568	-1874	-1793	-2 029	-1887	-15 093

L'objectif est atteint pour l'article 3.3 avec un crédit comptable de -15 MtCO₂e cumulé sur la période 2013-2020.

11.5 Article 3.4

11.5.1 Éléments démontrant que les activités relevant de l'article 3.4 ont eu lieu depuis le 1 Janvier 1990 et sont d'origine humaine

De même que pour l'article 3.3, les données de suivi d'occupation des terres sont issues d'une enquête annuelle pour la France métropolitaine qui fournit l'occupation et l'utilisation des terres tous les ans. Les surfaces de forêt concernées par l'article 3.4 sont les forêts gérées. Désormais, toutes les surfaces forestières sont considérées gérées.

11.5.2 Informations relatives à la gestion forestière (FM)

Conformément aux définitions des lignes directrices, sont rapportés en gestion forestière (forest management ou FM), les terres en forêt depuis 1990 qui sont sujettes à une gestion forestière et les terres nouvelles boisées, également sujettes à une gestion forestière mais qui ne répondent pas à la définition des terres rapportées au sein de l'article 3.3. Cet ensemble recoupe quasiment l'ensemble des forêts à l'exception de quelques formations boisées inexploitable (inaccessibilité, forte pente, rôle de protection exclusif, usage récréatif, esthétique, culturel ou en zone militaire).

11.5.2.1 Conversion de forêts naturelles en forêts plantées

Le rapportage dans la table 4(KP-I)B.1.2 sur les plantations (conversion de forêts naturelles en forêts plantées - avec équivalence carbone) n'est requis que par les Parties appliquant la disposition de la décision 22/CMP.7, Annexe, paragraphes 37-39.

Actuellement, la France n'applique pas cette disposition. Aucune conversion de forêts naturelles en forêts plantées - avec équivalence carbone n'est rapportée.

11.5.2.2 Niveau de Référence pour la Gestion Forestière (FMRL)

FMRL proposé en 2011

Le Niveau de Référence de gestion forestière (FMRL) pour la France, ainsi que pour de nombreux Etats membres de l'Union européenne, a d'abord été déterminé par le *Joint Research Center* (JRC). Pour l'établir, le JRC s'est appuyé sur deux approches : un modèle de croissance forestière basé sur les inventaires forestiers des Etats membres, et la méthode gain-perte du GIEC basé sur les données historiques des caractéristiques des forêts. Le Niveau de référence de la France soumis en 2011 est disponible sur le site de la CCNUCC³⁵. Des informations sur la méthode de calcul et les paramètres se trouvent dans ce document ainsi que dans le rapport d'évaluation de 2011 (TAR³⁶). Le premier FMRL d'avril 2011, incluant les produits bois, était de **-66,834 MtCO₂e/an**.

³⁵

http://unfccc.int/files/meetings/ad_hoc_working_groups/kp/application/pdf/awgkp_france_2011.pdf

³⁶ <http://unfccc.int/resource/docs/2011/tar/fra01.pdf>

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

FMRL - avril 2011	unité	moy. 2000-2008	2000	2005	2010	2015	2020	moy. 2013-2020
résultat des modèles (biomasse uniquement)								
EFISCEN	kt (Gg) CO2e	-40 777	-29 187	-46 485	-46 920	-41 059	-35 670	-39 478
G4M		-50 505	-47 779	-52 446	-49 558	-42 136	-33 663	-39 515
Moyenne des modèles		-45 641	-38 483	-49 466	-48 239	-41 598	-34 667	-39 496
Offset (différences avec l'inventaire)								
Offset - biomass	kt (Gg) CO2e	-28 427						
Offset - non biomass pools and GHG sources		5 182						
Total Offset		-23 244						
Modélisation recalée sur l'inventaire								
recalage des années avec le total offset	kt (Gg) CO2e	-68 886	-61 727	-72 710	-71 483	-64 842	-57 911	-62 741
Ajout des produits bois								
Produits bois - utilisés pour le FMRL		-4 186	-6 452	-4 288	-5 141	-4 136	-3 959	-4 093
FMRL incluant les produits bois		-73 072	-68 179	-76 998	-76 624	-68 978	-61 870	-66 834

produits bois : estimés avec une fonction de décomposition du premier ordre.

Ensuite un *corrigendum* a été publié en octobre 2011 : Le FMRL après corrigendum d'octobre 2011, incluant les produits bois, est de **-67,410 MtCO₂e /an**.

FMRL - octobre 2011	unité	moy. 2000-2008	2000	2005	2010	2015	2020	moy. 2013-2020
résultat des modèles (biomasse uniquement)								
EFISCEN	kt (Gg) CO2e	-29 765	-17 415	-36 042	-35 532	-31 475	-26 073	-29 753
G4M		-41 637	-38 084	-44 104	-40 655	-32 378	-24 636	-30 095
Moyenne des modèles		-35 701	-27 749	-40 073	-38 093	-31 926	-25 354	-29 924
Offset (différences avec l'inventaire)								
Offset - biomass	kt (Gg) CO2e	-38 367						
Offset - non biomass pools and GHG sources		5 182						
Total Offset		-33 185						
Modélisation recalée sur l'inventaire								
recalage des années avec le total offset	kt (Gg) CO2e	-68 886	-60 934	-73 258	-71 278	-65 111	-58 539	-63 109
Ajout des produits bois								
Produits bois - utilisés pour le FMRL	kt (Gg) CO2e	-4 394	-6 660	-4 496	-5 349	-4 344	-4 167	-4 301
FMRL incluant les produits bois		-73 280	-67 594	-77 754	-76 627	-69 455	-62 706	-67 410

C'est ce FMRL qui correspond à la valeur officielle inscrite à l'annexe de la décision 2/CMP.7 :

Party ^a	Reference level (Mt CO ₂ eq/year) ^b	Applying first-order decay function for HWP
France	-63.109	-67.410

Construction du FMRL et calibration avec l'inventaire - cohérence entre FM et FMRL

Le FMRL repose sur des données de modélisation forestière différente des données forestières utilisées dans l'inventaire. Néanmoins, une procédure de calibration (dite aussi *post adjustment*) permet de remettre en cohérence le FM historique et le FMRL. Cette approche est mentionnée dans le rapport d'évaluation (TAR³⁷) du FMRL français (paragraphes 9 et 10)³⁸.

Prise en compte des perturbations naturelles (ND) au sein du FMRL

Le FMRL prend en compte les émissions associées à l'ensemble des perturbations naturelles (voir note 4 p.1 et pages 4 et 5 du TAR de 2011) : tempêtes, feux de forêt, maladies et sécheresse.

Recalcul de la modélisation forestière servant de base au FMRL

³⁷ <http://unfccc.int/resource/docs/2011/tar/fra01.pdf>

³⁸ [Data and models] used for the construction of the FMRL are different from those used in the GHG inventory. (...) In order to make [FMRL] consistent with the historical data, a postadjustment/calibration was applied. Historical data from reporting on forest land remaining forest land under the Convention are used for post-calibration of the model results (...) by using the average of the period 2000 to 2008 from the 2010 national GHG inventory. (§9 and 10 of the TAR).

Il n'est pas prévu de recalculer complètement le volet biomasse du FMRL sur la base d'une nouvelle modélisation. La modification des paramètres de calcul n'est donc pas prévue pour améliorer la cohérence entre l'activité FM et le FMRL, notamment pour ce qui est de la structure en classes d'âge et des surfaces. Néanmoins, la modélisation du FMRL est remise en cohérence globale avec l'inventaire à l'aide d'une correction technique.

Un recalcul de la modélisation du volet produits bois a cependant été effectué pour l'édition 2022. Il a consisté à modéliser de nouveau les produits bois sur la base de l'inventaire historique pour les années jusqu'en 2008 incluse, puis à considérer une continuation des récoltes de bois au niveau moyen observé sur la période 2000-2008.

11.5.2.3 Correction technique du FMRL

Ancienne correction technique (2016)

En 2016, une première correction technique a été apportée au FMRL afin de le faire correspondre à la nouvelle estimation du puits historique. Les résultats des modèles EFISCEN et G4M avaient été mis à jour, en 2015, par rapport aux résultats de 2011.

ancienne correction technique - juin 2016	unité	moy. 2000-2008	2000	2005	2010	2015	2020	moy. 2013-2020
résultat des modèles (biomasse uniquement)								
EFISCEN	kt (Gg) CO2e	-34 285	-32 161	-35 511	-34 686	-33 797	-34 342	-34 068
G4M		-27 320	-26 816	-28 604	-23 441	-18 406	-11 706	-16 271
Moyenne des modèles		-30 802	-29 489	-32 058	-29 064	-26 101	-23 024	-25 170
Offset (différences avec l'inventaire)								
Offset - biomass	kt (Gg) CO2e	-25 501						
Offset - non biomass pools and GHG sources		5 056						
Total Offset		-20 446						
Modélisation recalée sur l'inventaire								
recalage des années avec le total offset	kt (Gg) CO2e	-51 248	-49 934	-52 503	-49 509	-46 547	-43 470	-45 615
Correction technique (sans produits bois)								17 494
Ajout des produits bois								
Produits bois - recalé	kt (Gg) CO2e	-5 324	-6 572	-5 184	-4 326	-2 161	-1 984	-2 135
FMRL incluant les produits bois		-56 572	-56 506	-57 687	-53 835	-48 708	-45 454	-47 750
Correction technique (avec produits bois)								19 660

Le nouveau puits projeté, sans produits bois, s'élevait à -45,615 MtCO₂e /an. Cette valeur avait par erreur été comparée au FMRL avec produits bois (-67,410 MtCO₂e), et la correction technique indiquée officiellement était de 21,795 MtCO₂e/an. Or, en ajoutant les produits bois (projections des produits bois de 2011 recalé sur le niveau de l'inventaire 2016), la correction technique s'élève en fait à -19,660 MtCO₂e /an.

Nouvelle correction technique (2022)

En 2022, une **nouvelle correction technique** vient annuler et remplacer celle de 2016. Elle prend en compte les modifications méthodologiques survenues depuis 2016 pour estimer le puits historique en forêt. Ce nouveau FMRL se base sur les résultats de modélisation mis à jour en 2015 pour la biomasse, et d'une nouvelle modélisation des produits bois. Cette nouvelle correction technique est de **23,318 MtCO₂e/an**. Le FMRL, incluant les produits bois, passe ainsi de -67,410 MtCO₂e/an à -44,092 MtCO₂e/an.

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

nouvelle correction technique - mars 2022	unité	moy. 2000-2008	2000	2005	2010	2015	2020	moy. 2013-2020
Résultats des modèles (biomasse uniquement)								
EFISCEN	kt (Gg) CO2e	-34 285	-32 161	-35 511	-34 686	-33 797	-34 342	-34 068
G4M		-27 320	-26 816	-28 604	-23 441	-16 406	-11706	-16 271
Moyenne des modèles		-30 802	-29 489	-32 058	-29 064	-26 101	-23 024	-25 170
Différences entre les modèles et l'inventaire (Offset)								
Biomasse	kt (Gg) CO2e	-21891						
Autres compartiments et émissions		5 963						
Total		-15 929						
Modélisation recalée sur l'inventaire								
recalage des années avec le total offset	kt (Gg) CO2e	-46 731	-45 418	-47 987	-44 993	-42 030	-38 953	-41099
Ajust des produits bois								
Produits bois - modélisé	kt (Gg) CO2e	-4 145	-5 141	-4 112	-3 548	-3 104	-2 734	-2 993
FMRL								
FMRL corrigé 2022 (avec produits bois)		-50 876	-50 559	-52 098	-48 541	-45 133	-41687	-44 092
FMRL 2011 (avec produits bois)		-73 280	-67 594	-77 754	-76 627	-69 455	-62 706	-67 410
Correction technique								23 318

Recalculs justifiant la correction technique.

D'une part, le calcul de la correction technique de 2016 présentait un manque de transparence et une erreur (en basant la correction technique sur la différence entre FMRL sans produits bois et FMRL avec produits bois). Une mise à jour de cette correction technique était donc nécessaire.

D'autre part, des changements méthodologiques ont eu lieu depuis 2016 sur l'estimation des émissions et absorptions en forêt restant forêt (biomasse, feux...). Les modifications méthodologiques de l'inventaire, impactant les années 2000 à 2008, et justifiant la correction technique du FMRL, sont les suivantes :

- Mise à jour des valeurs des surfaces d'utilisation des terres et de changements d'utilisation des terres, notamment les boisements, afin d'avoir plus de cohérence avec l'IGN. Cela impacte les surfaces en forêt restant forêt ;
- Les dernières campagnes de l'Inventaire Forestier National de l'IGN n'étaient pas toujours disponibles à temps pour la mise à jour de l'inventaire, ce qui explique que les valeurs concernant la croissance et la mortalité en forêt ont été fortement recalculées une fois ces données disponibles ;
- Certaines années passées des données issues de l'Inventaire Forestier National ont été corrigées par l'IGN ;
- Les consommations de bois énergie ont été mises à jour pour être en phase avec le Bilan de l'énergie ;
- Le bilan forestier en Guyane est désormais calculé en quantifiant les pertes liées aux prélèvements et les gains liés à la croissance post-récolte sur les zones d'exploitation. Ainsi le principe, documenté, d'une reconstitution des stocks après prélèvements est maintenu, mais le calcul des gains et pertes est fait à la place d'une hypothèse de neutralité. Pour les zones non exploitées en revanche, cette hypothèse de neutralité est maintenue. L'impact total est donc minime (inférieur à 2ktCO_{2eq}/an). Le brûlage des résidus de récolte a été supprimé en Guyane car jugé incohérent avec les pratiques locales de prélèvement ;
- L'application d'un facteur d'expansion de la biomasse était erronée dans les fichiers de calcul entre feuillus et résineux et a été corrigée.
- Les données sources pour les feux de forêt ont été mises à jour.

11.5.2.4 Informations concernant la provision pour les perturbations naturelles de l'article 3.4

Aucune surface n'a été exclue au titre des provisions pour les perturbations naturelles.

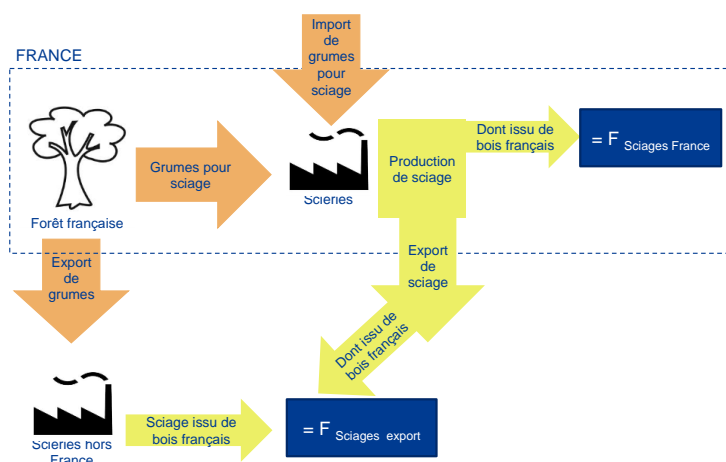
11.5.2.5 Information sur les Produits Ligneux Récoltés de l'article 3.4

Présentation générale :

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 chaîne 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 pendant les périodes d'engagement du Protocole de Kyoto, la comptabilisation des PLR démarre dès 1900. De plus, lors de la première période d'engagement les flux de carbone provenant des PLR produits entre 2008 et 2012, comptabilisés par la méthode d'oxydation instantanée, sont exclus du stock de produits bois en cours de décomposition.

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. A noter que seuls les PLR produits en France sont pris en compte, les PLR importés sont eux retranchés de la production :

Figure 187 : flux considérés dans la formulation concernant le compartiment "sciages".



Orange : volumes entrant dans les scieries ; jaune : volumes de sciages produits ; bleu : flux entrant dans le compartiment « sciages ».

Fonction de décomposition utilisée, et demi-vie :

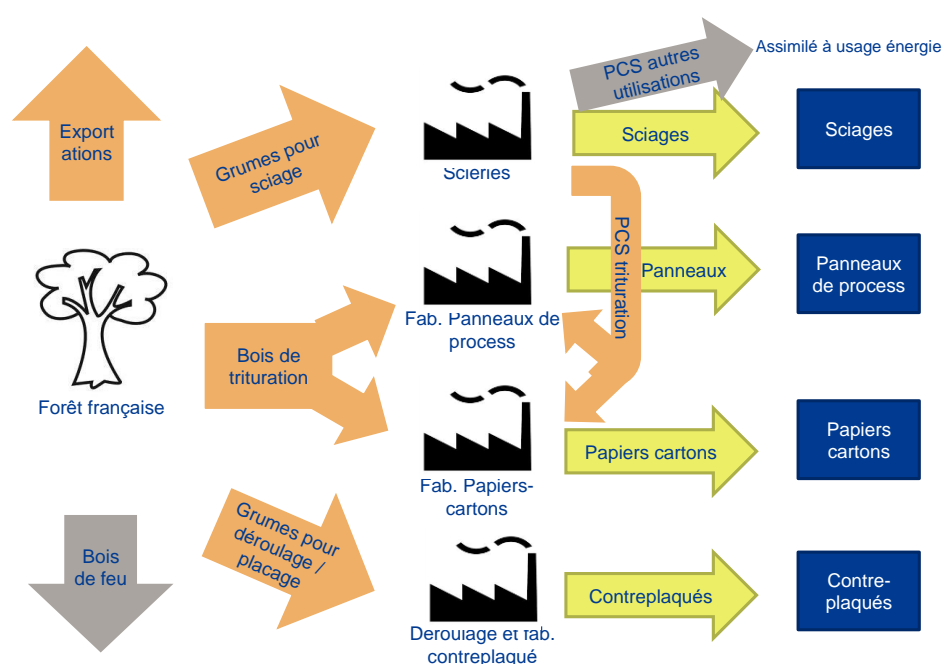
Le calcul des produits ligneux récoltés se base sur la fonction de décomposition au 1^{er} ordre proposée par le GIEC dans ses lignes directrices de 2006 (et non plus une fonction gamma comme dans des éditions précédentes de l'inventaire).

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 188 : vision d'ensemble des flux utilisés dans la méthode



11.5.3 Informations pour l'année de base relative à la gestion des cultures, des prairies, à la restauration du couvert végétal et le drainage des zones humides et la réhumidification (si ces options ont été choisies)

Les options gestion des cultures, gestion des prairies, restauration du couvert végétal, drainage et remise en eau des zones humides n'ont pas été choisies par la France pour la première et la seconde période d'engagement.

11.5.4 Informations relatives aux produits ligneux récoltés

Le bilan de l'évolution du stock de carbone dans les Produits Ligneux Récoltés est intégralement estimé au titre de l'activité 3.4 Gestion forestière (voir section 3.4). Le résultat sur les produits ligneux rapportés au format Kyoto diffère de celui rapporté pour la Convention car la contribution des récoltes entre 2008 et 2012 est artificiellement retirée de la comptabilisation de manière à respecter les règles de comptabilité en place lors de la première période d'engagement.

Tableau 241 : Bilan dans les PLR rapportés au titre du protocole de Kyoto depuis 1990

Année	CCNUCC			Protocole de Kyoto		
	Variation de Stock	Gains	Pertes	Variation de Stock	Gains	Pertes
	ktC	ktC	ktC	ktC	ktC	ktC
1990	1 391	4 109	2 718	1 391	4 109	2 718
1991	1 322	4 092	2 770	1 322	4 092	2 770
1992	797	3 606	2 810	797	3 606	2 810
1993	484	3 311	2 827	484	3 311	2 827
1994	727	3 571	2 844	727	3 571	2 844
1995	830	3 703	2 874	830	3 703	2 874
1996	692	3 590	2 897	692	3 590	2 897
1997	861	3 779	2 918	861	3 779	2 918
1998	1 015	3 962	2 947	1 015	3 962	2 947
1999	1 055	4 036	2 981	1 055	4 036	2 981
2000	1 402	4 429	3 026	1 402	4 429	3 026
2001	1 299	4 377	3 078	1 299	4 377	3 078
2002	982	4 094	3 113	982	4 094	3 113
2003	939	4 072	3 133	939	4 072	3 133
2004	1 116	4 274	3 158	1 116	4 274	3 158
2005	1 121	4 309	3 187	1 121	4 309	3 187
2006	1 165	4 382	3 217	1 165	4 382	3 217
2007	1 220	4 468	3 248	1 220	4 468	3 248
2008	931	4 203	3 272	-3 145	0	3 145
2009	364	3 636	3 272	-2 927	0	2 927
2010	934	4 214	3 279	-2 734	0	2 734
2011	941	4 247	3 307	-2 564	0	2 564
2012	633	3 956	3 322	-2 411	0	2 411
2013	489	3 813	3 324	1 422	3 813	2 391
2014	483	3 807	3 324	1 325	3 807	2 483
2015	316	3 637	3 321	1 078	3 637	2 559
2016	241	3 552	3 312	935	3 552	2 617
2017	302	3 604	3 302	937	3 604	2 667
2018	249	3 543	3 294	833	3 543	2 710
2019	209	3 491	3 282	748	3 491	2 743
2020	222	3 491	3 269	721	3 491	2 770

Le tableau ci-dessus présente les valeurs utilisées pour le calcul du bilan de la catégorie ‘Produits ligneux récoltés’, ou Produits bois, dans le cadre de la comptabilisation pour la CCNUCC (colonnes de gauche) et pour le Protocole de Kyoto (colonnes de droite). Les cellules grisées foncées montrent que les valeurs de gains pour la première période d’engagement du Protocole de Kyoto (2008-2012) sont exclues de la comptabilité pour la seconde période, conformément aux règles en vigueur.

Les produits ligneux récoltés rapportés au titre de l’article 3.4 sont cohérents avec les produits ligneux récoltés au titre de la CCNUCC, en considérant la différence relative aux années 2008-2012. Les calculs se fondent sur les mêmes données sources, les mêmes hypothèses et les mêmes paramètres. Il s’agit bien des volumes de bois récoltés en France (production domestique) qui sont considérés.

11.5.5 Analyse de la conformité au titre de l’article 3.4

Le tableau ci-dessous présente l’analyse de la conformité de la France au titre de la seule activité éeue de l’article 3.4, la gestion forestière (FM), pour la seconde période d’engagement du Protocole de Kyoto. Le niveau de puits forestier incluant les produits bois (FM+ PLR) observé sur la période est plus faible que le niveau projeté à atteindre (FMRL), avec un écart moyen de 11,550 MtCO₂e/an soit un débit comptable de 92,397 MtCO₂e cumulé sur la période.

Gestion forestière (FM)	unité	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Moyenne 2013-2020	Somme 2013-2030
FMRLcorr (incluant PLR) - ed. 2022	kt CO ₂ e	-44 092	-44 092	-44 092	-44 092	-44 092	-44 092	-44 092	-44 092	-44 092	-352 734
FM (incluant PLR) - ed. 2022	kt CO ₂ e	-53 704	-47 146	-43 293	-33 077	-23 950	-20 602	-18 838	-19 728	-32 542	-260 337
écart (bilan comptable)	kt CO ₂ e	-9 612	-3 054	799	11 015	20 141	23 490	25 254	24 363	11 550	92 397

Ce débit comptable s’explique par une tendance à la baisse du puits forestier depuis les années 2010, qui contredit les différentes modélisations effectuées auparavant. Les données disponibles de suivi

de ce puits restent encore insuffisantes pour bien comprendre les raisons exactes de cette évolution, mais la forte hausse de la mortalité et la baisse de la croissance des arbres sur les années récentes montrent une fragilisation de la forêt face aux épisodes répétés de sécheresses et aux attaques parasitaires.

Néanmoins, la France ne souhaite pas activer la clause des perturbations naturelles.

Il faut souligner que les années 2018 à 2020 ne sont pas encore renseignées par des résultats de l'inventaire forestier national, et restent à ce stade des estimations provisoires. Ces estimations sur la période 2013-2020 ne seront consolidés que lors de la publication de l'inventaire édition mars 2025.

11.6 Autres informations

11.6.1 Analyse en catégories clés des activités de l'article 3.3 et de toute activité choisie pour l'article 3.4

L'analyse en catégorie clé est établie par analogie avec l'analyse en catégorie clé de la convention. La plus petite catégorie clé de l'analyse avec UTCATF s'élève à 1,2 MtCO₂e donc toutes les émissions de CO₂ des activités des articles 3.3 et 3.4 sont catégories clés. Les émissions des autres composés (CH₄ et N₂O) sont en revanche en dessous de ce seuil.

Par ordre décroissant d'importance on trouve donc :

- CO₂ de la Gestion Forestière (3.4) qui contribue à 8,6% des flux totaux de CO₂ en 2019
- CO₂ des boisements reboisements (3.3) qui contribue à 3,2% des flux totaux de CO₂ en 2019
- CO₂ des défrichements (3.3) qui contribue à 2,3% des flux totaux de CO₂ en 2019

Même si quelques différences de définition existent, il est possible de faire une correspondance entre les catégories Convention et les catégories du Protocoles de Kyoto, cette correspondance permet de confirmer le statut de catégorie clé des flux de CO₂ des articles 3.3 et 3.4.

Tableau 242 : Correspondance entre catégories Convention et activités au titre du Protocole de Kyoto

Activités au titre du Protocole de Kyoto	Format Convention
Gestion Forestière	Forêts restant forêts
Défrichement	Forêts devenant Cultures Forêts devenant prairies Forêts devenant Zones Humides Forêts devenant Zones artificielles Forêts devenant Autres terres
Boisements Reboisements	Cultures devenant Forêts Prairies devenant Forêts Zones Humides devenant Forêts Zones artificielles devenant Forêts Autres terres devenant Forêts

Les catégories clés apparaissent *en gras*.

Voir le tableau complet des catégories-clés avec Activités du Protocole de Kyoto dans l'Annexe 1.

11.6.2 Analyse de la conformité au titre des articles 3.3 et 3.4

Le tableau ci-dessous rappelle les bilans des activités au titre des articles 3.3 et 3.4 du Protocole de Kyoto pour la seconde période d'engagement (2013-2020), ainsi que le bilan total de ces activités.

UTCATF (FM + ARD)	unité	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Moyenne 2013-2020	Somme 2013-2020
Bilan ARD	kt CO ₂ e	-2 184	-2 180	-1504	-1961	-1568	-1874	-1793	-2 029	-1887	-15 093
Bilan FM	kt CO ₂ e	-9 612	-3 054	799	1105	20 141	23 490	25 254	24 363	11550	92 397
Bilan ARD + Bilan FM	kt CO ₂ e	-11796	-5 234	-705	9 054	18 573	21616	23 461	22 334	9 663	77 304

L'objectif est non atteint sur ce total des activités UTCATF, avec un débit comptable de 9,663 MtCO₂e en moyenne par an et de 77,304 MtCO₂e cumulé sur la période 2013-2020.

11.7 Information relative à l'article 6

La France, à ce jour, n'a pas de projet de « mise en œuvre conjointe » (MOC) sur l'UTCATF, il n'y a donc pas d'information spécifique supplémentaire concernant l'article 6 du Protocole de Kyoto.

Un arrêté permettant la mise en place de tels projets en France, a été publié dans le Journal officiel fin 2012 (arrêté du 27 décembre 2012 pris pour l'application du III de l'article R. 229-40 du code de l'environnement et relatif à l'agrément des activités de projet mises en œuvre sur le territoire national résultant de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres ou d'activités forestières).

11.8 Suivi des recommandations des revues

Suite à la revue CCNUCC de 2021, voici les réponses qui ont été apportées pour le secteur KP-UTCATF et les éventuelles améliorations correspondantes (cf. Annexe 9) :

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation
KP-LULUCF	General (KP-LULUCF activities)- (KL.1, 2019) (KL.2, 2017) (KL.3, 2016) (KL.3, 2015) Adherence to the reporting guidelines under Article 7, paragraph 1, of the Kyoto Protocol	Improve the national system for the overseas territories by introducing additional institutional arrangements to ensure that at minimum information be collected on a continuous basis to be included in France's future annual submission on: (a) Forest area and forest area changes;	The Party did not report any changes in its NIR. During the review, the Party clarified that several projects are focusing on overseas territories, which should lead to improvements in next inventories.	2021 Review PMF* / KL.1	Implemented. New precisions have been provided in the NIR 2022 regarding other datasets that are already used and that may be used in the future for overseas territories.

		(b) Forest areas subject to natural disturbances; (c) Forest biomass carbon stock gains; (d) Forest biomass carbon stock losses associated with harvesting and carbon stock losses associated with natural disturbances.			
KP-LULUCF	General (KP-LULUCF activities) (KL.2, 2019) (KL.3, 2017) (KL.4, 2016) (KL.4, 2015) Accuracy	Use the data from the NFI plots collected in the areas subject to disturbance or land-use conversion for estimating biomass and DOM carbon stocks in disturbed/ converted areas to enhance the accuracy of estimates of GHG emissions associated with disturbance of forest lands and their conversions to other land uses.	The Party did not report the use of the NFI data plots in the areas subject to disturbance or land-use conversion. The Party clarified that actually DOM was not added to stocks of biomass taken into account for forest fires. The reason for this is that DOM remains a very small proportion of biomass. The ERT considers that the recommendation has not yet been addressed.	2021 Review PMF* / KL.2	not resolved yet
KP-LULUCF	General (KP-LULUCF activities) (KL.4, 2019) (KL.5, 2017) (KL.6, 2016) (KL.6, 2015) Accuracy	Allocate the appropriate portion of harvested wood to AR lands and remove it from FM, and revise carbon stock change estimates in AR and FM accordingly.	The Party did not allocate the appropriate portion of harvest wood to AR lands and remove it from FM. The Party indicated that the origin of harvesting cannot be tracked so accurately. They clarified that it is necessary to make strong assumptions to revise this allocation, which therefore has not taken place yet. See also ID# KL.19.	2021 Review PMF* / KL.4	not resolved yet
KP-LULUCF	General (KP-LULUCF activities)(KL.5 , 2019) (KL.7, 2017) (KL.8, 2016) (KL.8, 2015) Accuracy	Address the inconsistency between the information reported in the report to facilitate the calculation of the assigned amount for the second commitment period of the Kyoto Protocol and the annual submission by including pests and droughts in the estimates of the background level and margin for FM and AR.	The Party reported that this has not been implemented yet.	2021 Review PMF* / KL.5	Implemented. The natural disturbances provision has not been applied by France in the 2022 submission. Pests and droughts were possible elements to be included in the background level but they could not be actually estimated.

KP-LULUCF	Article 3.3 activities (KL.8, 2019) (KL.4, 2017) (KL.5, 2016) (KL.5, 2015) Transparency	Report in the NIR the following quantitative information: (a) For both AR and deforestation, the time series (from 1990 to the last reported year) of area subject to the activity (i.e. extend back to the time period 1990-2007 the data series reported in NIR table 69) and of net annual SOC changes; (b) The time series (from 1990 to the last reported year) of annual harvesting, of biomass net annual increment, of GHG emissions from natural disturbances in lands subject to AR; (c) The time series (from 1990 to the last reported year) of biomass carbon stock loss from areas deforested every year.	The Party reported some quantitative information in its NIR 2020. a) Addressing. France reported the annual and cumulative areas of AR and deforestation (as well as FM) for 1990 to 2020 (NIR table 221, p. 728). The net annual SOC changes, however, were not provided; b) The Party indicated that they will not calculate emissions and removals before 2008 under KP format. They clarified that it is not a KP requirement and represents a lot of work. However, the ERT notes that the estimation of GHG emissions from natural disturbances in lands subject to AR is still required for the calculation of the background level and margin if the party intends to apply the natural disturbance provision. See also ID# KL.18 below. c) The Party indicated that they will not calculate emissions and removals before 2008 under KP format. They clarified that it is not a KP requirement and represents a lot of work.	2021 Review PMF* / KL.8	not resolved yet
KP-LULUCF	FM - CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O (KL.10, 2019) (KL.13, 2017) (KL.12, 2016) (KL.12, 2015) Transparency	Report in the NIR quantitative information on the drivers that have determined the deviation of the actual estimates of GHG emissions and removals reported under FM from the projected GHG emissions and removals included in the FMRL correction value, including: (a) The time series (from 1990 to the latest reported year) of annual harvesting, of biomass gross annual increment, of natural mortality, of FM area and of GHG emissions from	The Party reported that this has not been implemented yet.	2021 Review PMF* / KL.9	not resolved yet

		natural disturbances used for preparing estimates for FM during the commitment period; (b) The historical time series (1990- 2012) of annual harvesting, of biomass gross annual increment, of natural mortality, of FM area, of GHG emissions from natural disturbances used for projecting the FMRL correction value; (c) The amount of annual harvesting, of biomass gross annual increment, of natural mortality, of FM area, of GHG emissions from natural disturbances included in the FMRL correction value.			
KP-LULUCF	FM - CO2 (KL.11, 2019) (KL.14, 2017) (KL.13, 2016) (KL.13, 2015) Accuracy	Use the same age class structure as derived from the NFI for the year 2010 for calculating the FMRL correction value and ensure consistency in the factors applied in the FMRL and in the FM estimates to calculate the total biomass (above and below ground) of forest from the growing stock volume.	The Party reported that this has not been implemented yet.	2021 Review PMF* / KL.10	not resolved yet
KP-LULUCF	HWPs - CO2 (KL.16, 2019) (KL.21, 2017) (KL.19, 2016) (KL.19, 2015) Transparency	Report in CRF table 4(KP-I)C and in the NIR, as follows: (a) Background data (i.e. the time series of HWP domestically produced from domestic wood) for each HWP category; (b) Information on how HWP domestically produced from domestic wood have been singled out from the total HWP domestically produced; (c) Information on how the HWP contribution of exported HWP, domestically produced with domestic wood, have	The Party reported some data in the CRF table (KP-I) C, but they indicated that this issue is not fully resolved. a) France provided volumes of HWPs domestically produced by category, but the data on domestic wood from which these HWPs are derived were not provided in NIR table 157. In CRF KP table 4(KP-I)C, "NO" was reported under harvest and needs to be updated with the values for domestic harvest by category; (b) and (c) France improved the transparency of the NIR and provided additional information on HWP	2021 Review PMF* / KL.13	Implemented. a) The CRF KP table 4(KP-I)C has not been updated as far as harvest is just a partial information to estimated HWP. However, all information (inputs, stocks, outputs) on wood production for HWP is available in the LULUCF background file. b) This has been clarified in the NIR. Imports and exports are known by several statistical datasets. c) it is supposed that statistics on exported wood is about domestically produced wood. This has been clarified. e) HWPs under AR and FM are consistent with HWP. Elements have been added in the NIR.

		been estimated; (e) Information that demonstrates the consistency between the harvesting rate reported for estimating biomass net carbon stock change in land under FM and AR and the HWP domestic production.	calculations and assumptions in NIR chapter 6.10.2. p. 660. For (b), although the NIR indicates that incoming flows can distinguish wood products from wood harvested in France and wood products from imported wood (p.663), there is no description of how this is done. For (c), the NIR indicates that statistics on exported wood are available, but a distinction is not made for exported wood that is domestically produced (p.665); (e) France did not provide information in the NIR that demonstrates consistency between the HWPs reported under AR and FM and the domestic production of HWPs.		
KP-LULUCF	General (KP-LULUCF) (KL.19, 2019) KP reporting adherence	Provide definitions for planted and natural forests, and distinguish the areas of planted and natural forests in the NIR and report their total areas in CRF table NIR-2.1 instead of "NE". The ERT encourages the Party, when conducting the new NFI surveys for carbon stock change factors, to introduce the land-use aspect, specifically when collecting information in regions with different FM regimes.	The Party reported that this is not planned.	2021 Review PMF* / KL.16	not resolved yet
KP-LULUCF	FM - general (KL.21, 2019) Transparency	Include in the NIR the calculation and results of the background level and margin for both AR and FM that have been provided in CRF tables 4(KP-I)A.1.1 and 4(KP-I)B.1.3. The ERT encourages the Party, if it intends to use the provision of natural disturbances, to put in place a tracking system to enable it to report	The Party did not address the issue and the encouragement was not taken. During the review, the Party clarified that it will be included in the NIR of 2022.	2021 Review PMF* / KL.18	Implemented. Since the natural disturbances provision has not been applied by France, this is no longer needed.

		information consistent with decision 2/CMP.7, annex, paragraph 34.			
KP-LULUCF	HWP - CO2 (KL.22, 2019) Accuracy	Include in CRF table 4(KP-I)C information on the amount of wood originating from deforestation, AR and FM, and include the volumes of wood originating from deforestation (during the event) and other land uses in cells D17 and D18, respectively, of that table. Also provide in the NIR information that demonstrates that HWP originating from wood harvested during a land-use change on deforested land have been separated from HWP originating from areas under FM.	The Party did not address the issue.	2021 Review PMF* / KL.19	not resolved yet
KP-LULUCF	HWP - CO2 (KL.23, 2019) Transparency	Provide in the NIR the quantitative values and calculation for HWP accounted for in the first commitment period of the Kyoto Protocol that are excluded from the second commitment period accounting.	The ERT recommends that France provide in the NIR the quantitative values and calculation for HWPs accounted for in the first commitment period of the Kyoto Protocol that are excluded from the second commitment period accounting. The Party did not address the issue and the quantitative values and calculation for HWP were not provided. During the review, the Party clarified that it will be included in the NIR of 2022.	2021 Review PMF* / KL.20	Implemented. A table showing the details of HWP excluded for the CP1 is provided in the NIR 2022.
KP-LULUCF	Select category - add gas(es) Transparency	The Party reported in its NIR (p Tables 182 and 190) that the amount of living biomass is set to 0 for land use conversion, based on following hypothesis: (in French) par définition, les cultures annuelles ne contiennent pas de végétation autres que la strate herbacée. Le stock de carbone sur cette strate est	The ERT encourages the Party to adhere to the IPCC Guidelines or to provide country quantitative data which corroborates the decisions taken.	2021 Review PMF* / KL.21	Country quantitative data not implemented. Explanations have been added to the NIR. According to us, IPCC guidelines (including 2019 refinements) do not provide enough explanations and reliable default values for non woody biomass for all land uses, which justifies our assumption to neglect this non woody pool for all activities. We consider that ΔC conversion for afforestation = 0 tC/ha/y; and ΔCG = 0 tC/ha/y for

		<p>comptabilisé comme nul. La valeur du Giec (2006, vol 4. Chap 6, p.6.27) [672] donnant 4,7tC /ha - ou la valeur du Giec (2006, vol 5. Table 5.9) donnant 5 tC/ha n'est pas utilisée faute de donnée sur sa pertinence pour la France.</p> <p>The ERT noted that this is not in accordance with the 2006 IPCC Guidelines because the 2006 GL states for estimating C stock for living biomass that it shall include foliage (table 1.1) and 2006 GL says 5 tC/ha. The ERT recognizes that the guidance from 2006 are not clear on this, but indicates that it is better formulated in Ref 2019.</p> <p>For CL remaining CL this has no effect on the emission but for LUC it may means a difference. The BEF values for FL include "foliage" so when you make A you include C in leaves but you do not take the loss from the missing C stock in the land where it came from.</p> <p>Therefore, this loss should be included as well as a gain when land use is converted from FL to CL. This is an issue since this have influence on the KP accounting.</p> <p>During the review, the Party clarified that the default value of 10 tdm/ha converted to 5 tC/ha in IPCC2006 is indeed not used. The main reason is that only woody biomass is estimated in the inventory right now (even though IPCC table 1.1 defines biomass as including other parts). The Party made this</p>			<p>deforestation. Non woody biomass is consistently neglected both in forest and other land uses.</p>
--	--	---	--	--	---

		methodological choice to focus on the biomass that can be monitored and estimated without too many assumptions. Another reason is that 10 tdm/ha seems a bit high to be used as a mean biomass carbon stock for the majority of French annual crops or herbaceous grasslands.			
--	--	---	--	--	--

12 Information sur la comptabilisation des unités Kyoto

12.1 Informations de base

Par décret n°2004-1412 du 23 décembre 2004, l'État a confié à la Caisse des Dépôts la gestion d'une mission de service public incluant la prise d'actes de police administrative environnementale. Ce texte a été modifié par le décret 2012-1343 du 3 décembre 2012 qui intègre les évolutions des directives européennes, notamment le remplacement des registres nationaux par un système unique développé par la Commission et qui confirme la délégation de service confiée à la Caisse des dépôts pour la période 2013-2020.

Le groupe Caisse des Dépôts est un groupe public, investisseur de long terme au service de l'intérêt général et du développement économique du pays. La Caisse des Dépôts a été désignée par le décret n°2004-1412 pour administrer le registre et développer des systèmes d'informations destinés à exploiter le registre et leur sécurisation.

Depuis la migration du 20 juin 2012 dans le registre de l'Union européenne, c'est la Commission européenne qui assure la fourniture, la maintenance et la sécurisation du système d'information du registre national au titre des engagements des États Membres européens en tant que Parties au protocole de Kyoto (registre PK) et en tant que participants au Système d'Échange de Quotas d'Émission de gaz à effet de serre de l'Union Européenne (SEQE-UE ou EU-ETS selon l'acronyme anglais) piloté par la Commission européenne.

- ***Nom et coordonnées de l'administrateur du registre désigné par la Partie pour gérer le registre national***

Depuis le 1er janvier 2022, le teneur du registre français est :

- M. Malick MBATH, +33 1 58 50 78 93, malick.mbath@caissedesdepots.fr.

- ***Noms des autres Parties avec lesquelles la Partie coopère pour gérer leur registre national grâce à un système consolidé***

Depuis le 20 juin 2012, les registres nationaux (et européen) des États Membres de l'Union européenne sont gérés au moyen du logiciel développé, maintenu et sécurisé par la Commission européenne.

- **Description de la structure de la base de données et de la capacité du registre national**

Depuis le 20 juin 2012, il n'y a qu'un seul registre européen pour tous les Etats Membres. Une description complète du registre unique a été fournie à l'ITL (Independent Transaction Log) dans la documentation générale et spécifique en vue du démarrage du registre national de l'UE et des registres nationaux consolidés. La structure de la base des données, fournie par la Commission européenne, est présentée en Annexe A CSEUR.

- **Description des moyens mis en œuvre par le registre national pour se conformer aux DES (Data Exchange Standard) dans l'objectif d'assurer des échanges d'informations précis, transparents entre les registres nationaux, le registre des mécanismes de développement propre et le journal des transactions (décision 19/CP.7, paragraphe 1)**

Depuis la migration informatique de juin 2012, les opérations visant à conformer aux DES les registres nationaux des Etats Membres de l'UE sont traitées par la Commission européenne.

- **Adresse internet du registre national**

L'adresse URL de la partie française du système consolidé est la suivante :

<https://unionregistry.ec.europa.eu/euregistry/FR/index.xhtml>;

- **Adresse internet du site de communication du registre national**

Depuis le 9 janvier 2013, l'adresse internet du site de communication et d'information du registre est : <https://www.seringas.caissedesdepots.fr>

12.2 Résumé des informations contenues dans les tables SEF

Le Rapport SEF présenté ci-après a été établi à partir des informations fournies par le logiciel développé par la Commission européenne.

Tableau 243 : Synthèse tables SEF 2021, unités de période 2

Libellé	Table SEF	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs
Quantité totale des unités Kyoto de période 2 en début 2021	1	Aucune	3 969	Aucune	1 872 901	Aucune	Aucune
Quantité totale des unités Kyoto de période 2 à la fin 2021	4	3 202 091 924	3 969	Aucune	7 980 818	Aucune	Aucune
Total annuel des flux créditeurs d'unités Kyoto de période 2 en 2021	2 (e)	Aucun	Aucun	Aucun	7 077 595	Aucun	Aucun
Total annuel des flux débiteurs d'unités Kyoto de période 2 en 2021	2 (e)	Aucun	Aucun	Aucun	1 838 419	Aucun	Aucun
Synthèse des retraits d'unités Kyoto de période 2 en 2021	2 (a)	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun
Expiration, annulation et remplacement de tCERs ou ICERs	3	Aucun					
Opération corrective concernant des transactions, retraits, ou remplacements	6 (a), 6 (b), 6 (c)	Aucune					

Pour plus de détails, les rapports SEF CP2 et SEF CP1 sont fournis en annexes.

12.3 Notifications et erreurs

- Aucun écart n'est survenu en 2021. Le rapport R-2 est donc vide, et en conséquence non soumis.
- Aucune notification du registre MDP (CDM) n'est survenue en 2021. Le rapport R-3 est donc vide, et en conséquence non soumis.
- Aucune transaction de remplacements en 2021. Le rapport R-4 est donc vide, et en conséquence non soumis.
- Aucune unité invalide n'est présente au 31 décembre 2021. Le rapport R-5 est donc vide, et en conséquence non soumis.

Comme il n'y a pas eu d'écart à rapporter (erreur) en 2021, aucune action corrective n'a été nécessaire.

12.4 Informations accessibles au public

Les informations publiques sont accessibles sur le site du registre :

<https://unionregistry.ec.europa.eu/euregistry/FR/public/reports/publicReports.xhtml>

Parallèlement à ce site, nous avons également un site d'information du registre français :

<https://seringas.caissedesdepots.fr/-rapport-public-.html>

12.5 Calcul de la réserve de la partie pour la période d'engagement (CPR)

Le résultat d'inventaire 2020 de la France au périmètre Kyoto (hors UTCATF) est égal à 392 962 568,2 tonnes CO₂e, le calcul de la CPR sur cette base est donc égal à $8 * 392\,962\,568,2$ soit 3 143 700 546 tonnes CO₂e.

La valeur calculée sur la base de la quantité attribuée fixée dans le cadre de la 2e période Kyoto dans le rapport initial de la France de 2016 ($90/100 * 3\,014\,714\,832$) est égale à 2 713 243 349 tonnes CO₂e. Cette valeur étant inférieure à la valeur calculée sur la base de l'inventaire, cette dernière est retenue pour la CPR.

Selon la décision 11/CMP.1, paragraphe 6, appliquée avec 8 années d'engagement pour la 2e période Kyoto, la CPR de la France par rapport aux émissions de 2019 est donc égale à 2 713 243 349 tonnes CO₂e.

12.6 Comptabilisation du secteur UTCATF

Pour la deuxième période d'engagement, conformément à la décision 2/CMP7 la France prend en compte l'activité « Gestion des forêts » au titre de l'article 3, paragraphe 4 du Protocole de Kyoto.

Les trois autres activités (gestion des terres cultivées, gestion des pâturages et restauration du couvert végétal) n'ont pas été retenues.

En France, la gestion forestière est encadrée juridiquement par le Code Forestier qui prévoit les droits et obligations afférents aux forêts publiques et privées.

Au sens du paragraphe 4 de l'article 3 du protocole de Kyoto, une forêt fait l'objet de l'activité « gestion forestière » lorsqu'elle fait l'objet d'opérations de gestion forestière visant à administrer les fonctions écologiques, économiques et sociales de la forêt. Le terme « opération de gestion forestière » recouvre, entre autres, les actions de coupe ou de travaux forestiers, les actions de planification forestière, d'accueil du public en forêt ou de protection des écosystèmes forestiers.

C'est pourquoi, au sens du paragraphe 4 de l'article 3 du protocole de Kyoto, seules les forêts exclusivement soumises aux processus naturels, en raison notamment d'une accessibilité limitée, sont considérées comme non-gérées.

La France comptabilisera les émissions et les absorptions résultant des activités de gestion des forêts (FM) par comparaison à leur niveau de référence (FMRL) établi conformément à la décision 2/CMP.7. Cette valeur de référence a fait l'objet en 2016 d'une première correction technique, puis en 2022 d'une nouvelle correction technique pour tenir compte d'une évolution méthodologique concernant les inventaires réalisés par l'IGN. Le FMRL ainsi corrigé s'établit à -44 092 kt CO₂ e.

Pour toutes les activités relatives aux articles 3.3 et 3.4, la France choisit une comptabilisation en fin de période dans le cadre de la deuxième période du protocole de Kyoto. Le niveau de référence pour les produits bois est calculé sur la base des niveaux de récolte projetés du niveau de référence de la gestion forestière réactualisé (voir annexe I). Les calculs ont été effectués avec le calculateur WoodCarbonMonitor (2015). Ce calculateur intègre les exigences des lignes directrices supplémentaires du GIEC de 2013. Les calculs sont basés sur une méthodologie de Tier 2 avec les données de base fournies par la FAO et données de récolte fournies par la France (IGN data) et l'utilisation de facteurs de conversion par défaut (cf. Table 2.8.1, supplément GIEC 2013) et des valeurs de demi-vie par défaut.

Les produits bois au sein du FMRL ont été recalculés en 2022. Ils ont été calculés en cohérence méthodologique avec le calcul des produits bois pour le rapportage au titre de la CCNUCC. Pour le FMRL_{corr} de 2022, les produits bois ont été modélisés sur la base d'une récolte de bois destinés aux produits bois maintenue constante après 2009 sur la base du niveau moyen observé sur la période 2000-2008.

Les résultats du niveau de référence pour les produits ligneux pour la France sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 244 : Niveau de référence pour les produits ligneux

année	Contribution des PLR révisée pour le FMRL	
	ktC	Mt CO ₂ e
2013	-892,11	-3,27
2014	-868,85	-3,19
2015	-846,45	-3,10
2016	-824,86	-3,02
2017	-804,03	-2,95
2018	-783,91	-2,87
2019	-764,46	-2,80
2020	-745,65	-2,73
moyenne 2013-2020	-816,29	-2,99

13 Information sur les changements concernant le système national d'inventaire

Les dispositions institutionnelles du système national d'inventaire décrites dans le précédent rapport d'inventaire NIR (édition mars 2019) restent valables.

13.1 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 dans le cadre du SNIEBA appartient au Ministère de la Transition Écologique (MTE). M. Jonathan Hess de la Direction Générale Énergie et Climat (DGEC), au sein du MTE, a la responsabilité de l'inventaire national de la France,

+33 (0)1 40 81 20 52, jonathan.hess@developpement-durable.gouv.fr.

13.2 Répartition des rôles et des responsabilités au sein du système national d'inventaire

Les responsabilités sont réparties comme suit :

- La **maîtrise d'ouvrage de la réalisation des inventaires et la coordination d'ensemble du système** sont assurées par le MTE.
- **D'autres ministères et organismes publics** contribuent aux inventaires d'émissions par la mise à disposition de **données et statistiques** utilisées pour l'élaboration des inventaires.

- **L'élaboration des inventaires d'émission** en ce qui concerne les **méthodes** et la préparation de leurs **évolutions**, la **collecte et le traitement des données**, l'**archivage**, la **réalisation des rapports et divers supports**, la gestion du **contrôle** et de la **qualité**, est confiée au **CITEPA** (Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique) par le MTE. Le CITEPA assiste le MTE dans la coordination d'ensemble du système national d'inventaire des émissions de polluants dans l'atmosphère. A ce titre, il convient de mentionner tout particulièrement la coordination qui doit être assurée entre les inventaires d'émissions et les registres d'émetteurs tels que l'E-PRTR et le registre des quotas d'émissions de gaz à effet de serre dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission (SEQUE), sans oublier d'autres aspects (guides publiés par le MTE, système de déclaration annuelle des rejets de polluants, etc.) pour lesquels il est important de veiller à la cohérence des informations.
- Le MTE met à disposition du CITEPA toutes les informations dont il dispose dans le cadre de la réglementation existante, comme les déclarations annuelles de rejets de polluants des Installations Classées, ainsi que les résultats des différentes études permettant un enrichissement des connaissances sur les émissions qu'il a initiées tant au sein de ses services que d'autres organismes publics comme l'INERIS. Par ailleurs, le MTE établit dans l'arrêté SNIEBA du 24 août 2011 une liste des statistiques et données émanant d'organismes publics ou ayant une mission de service public, utilisées pour les inventaires d'émission (cf. tableau suivant relatif à l'annexe II de l'arrêté SNIEBA).
- Le MTE pilote le **Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émission (GCIIIE)** qui a notamment pour mission de :
 - o **donner un avis sur les résultats** des estimations produites dans les **inventaires**,
 - o **donner un avis sur les changements** apportés dans les **méthodologies** d'estimation,
 - o **donner un avis sur le plan d'action d'amélioration** des inventaires pour les échéances futures,
 - o **émettre des recommandations** relativement à tout sujet en rapport direct ou indirect avec les inventaires d'émission afin d'assurer la cohérence et le bon déroulement des actions, favoriser leurs synergies, etc.,
 - o **recommander des actions d'amélioration** des estimations des émissions vers les **programmes de recherche**. Le GCIIIE est composé de représentants :
 - § du Ministère de la Transition Ecologique (MTE) notamment de la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), de la Direction générale de la prévention des risques (DGPR), de la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN), de la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM), de la Direction générale de l'aviation civile (DGAC) et des services statistiques du MTE notamment le SDES (Service de la donnée et des études statistiques),
 - § du Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (MAA), notamment le Service de la statistique et de la prospective (SSP) et la Direction générale de la performance économique (DGPE),
 - § du Ministère de l'économie, des finances et de la relance, notamment de la Direction générale de l'INSEE et de la Direction générale du Trésor,
 - § de l'Agence de l'Environnement et de la Transition Ecologique (ADEME),
 - § de l'Institut National de l'Environnement industriel et des risques (INERIS).
- La **diffusion des inventaires d'émission** est partagée entre plusieurs services du MTE qui reçoivent les inventaires approuvés transmis par la DGEC :
 - o La **DGEC** assure la diffusion des **inventaires d'émissions** qui doivent être **transmis à la Commission européenne** en application des directives, notamment l'**inventaire des Grandes Installations de Combustion (GIC)** au titre de la directive 2001/80/CE ainsi que les inventaires au titre de la directive 2001/81/CE relative aux **Plafonds d'Émission Nationaux**. Elle assure également la diffusion des **inventaires** relatifs à la **Convention de la Commission Économique pour l'Europe des Nations Unies relative à la Pollution Atmosphérique Transfrontière à Longue Distance (CEE-NU - CPATLD)**. Hormis les responsabilités attribuées spécifiquement au Service de la donnée et des études statistiques (CGDD / SDES) décrites ci-

dessous, la **DGEC** assure la diffusion de tous les inventaires d'émissions à **tous les publics** et en particulier aux Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (**DREAL**).

- o La DGEC assure également la diffusion de l'**inventaire des émissions de gaz à effet de serre** établi au titre de la **Décision communautaire sur le mécanisme de suivi des gaz à effet de serre auprès de la Commission européenne** ainsi que la diffusion de cet inventaire au titre de la **Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC)** et en particulier relativement au Protocole de Kyoto auprès du **Secrétariat de la Convention**.

A la demande du MTE, le **CITEPA** assure la diffusion de tous les inventaires qu'il réalise par, notamment, la **mise en accès public libre des rapports** correspondants à l'adresse Internet <https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions>. Certains de ces rapports sont parfois également présents sur d'autres sites ou diffusés sous différentes formes par d'autres organismes. Le CITEPA est également chargé de diffuser des informations techniques relatives aux méthodes d'estimation et est notamment désigné comme **correspondant technique des institutions internationales** citées ci-dessus. A ce titre, le CITEPA est le **Point Focal National** désigné par le MTE dans le cadre de l'**évaluation de la modélisation intégrée** pour ce qui concerne les **émissions**. Le CITEPA assure conjointement avec le MTE la diffusion de l'inventaire d'émissions dit « **SECTEN** » qui présente d'une manière générale des séries longues et des analyses spécifiques des sources émettrices en France.

14 Information sur les changements concernant le registre national

Depuis juin 2012, la plate-forme unique qui assure la tenue des registres européens et nationaux (y compris celui de l'UE) est appelée système consolidé de registres européens (Consolidated System of European Registries - CSEUR). Cette plateforme est développée et maintenue par la Commission européenne. La version actuelle de l'application se conforme aux exigences du dernier règlement délégué européen du registre en vigueur : n° 2019/1122 du 12 mars 2019.

Le tableau suivant indique, les modifications apportées au registre national en 2021.

Reporting Item	Description
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(a) Change of name or contact	Yes. The New National Administrator is Mr. Malick MBATH. + 33 1 58 50 78 93 malick.mbath@caissedesdepots.fr
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(b) Change regarding cooperation arrangement	There was a change in the cooperation arrangement during the reported period as the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland no longer operate their registry in a consolidated manner within the Consolidated System of EU registries, CS EUR.

Reporting Item	Description
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(c) Change to database structure or the capacity of national registry	<p>There has been 6 new EUCR releases (versions 12.4, 13.0.2, 13.2.1, 13.3.3, 13.5.1 and 13.5.2) after version 11.5 (the production version at the time of the last Chapter 14 submission).</p> <p>No changes were applied to the database, whose model is provided in Annex A. No change was required to the application backup plan or to the disaster recovery plan.</p> <p>No change to the capacity of the national registry occurred during the reported period.</p>
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(d) Change regarding conformance to technical standards	<p>The changes that have been introduced with versions 12.4, 13.0.2, 13.2.1, 13.3.3, 13.5.1 and 13.5.2 compared with version 11.5 of the national registry are presented in Annex B.</p> <p>It is to be noted that each release of the registry is subject to both regression testing and tests related to new functionality. These tests also include thorough testing against the DES and are carried out prior to the relevant major release of the version to Production (see Annex B).</p> <p>No other change in the registry's conformance to the technical standards occurred for the reported period.</p>
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(e) Change to discrepancies procedures	No change of discrepancies procedures occurred during the reported period.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(f) Change regarding security	No changes regarding security were introduced.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(g) Change to list of publicly available information	No change to the list of publicly available information occurred during the reported period.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(h) Change of Internet address	<p>No change to the registry internet address during the reported period. The URL is still:</p> <p>https://unionregistry.ec.europa.eu/euregistry/FR/index.xhtml</p>
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(i) Change regarding data integrity measures	No change of data integrity measures occurred during the reported period.

Reporting Item	Description
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(j) Change regarding test results	No change during the reported period.

Rapport SIAR 2021

Les rapports R2 à R5 sont vides, par conséquent non soumis.

15 Information sur la minimisation des effets adverses sur les pays en développement des politiques et mesures mises en œuvre par la France (article 3.14)

15.1 Description des externalités potentielles des politiques et mesures de la France

Les parties doivent selon l'article 3.14 du protocole de Kyoto faire en sorte que la mise en œuvre de leurs politiques nationales dans le cadre du protocole de Kyoto ne nuise pas aux autres parties. De nouvelles actions entreprises ont été menées en 2015.

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 d'impact ou des 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 et d'assurer ainsi que les dispositions législatives françaises issues du droit européen respectent bien l'engagement pris dans le cadre du protocole de Kyoto en accord avec l'article 3.14. Toutes ces études d'impact sont rendues publiques sur le site :

<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/?fuseaction=ia&year=2017&serviceld=&s=Chercher>

Renforcement de capacité

Le spectre thématique du renforcement de capacité de la France s'élargit avec les années. Le 4^{ème} rapport bisannuel de la France, publié en janvier 2020, met 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.

L'adaptation au changement climatique et l'intégration des questions climatiques dans les politiques nationales

La lutte contre le changement climatique est une priorité nationale et les mesures nécessaires pour limiter son ampleur, par la baisse de nos émissions de gaz à effet de serre (i.e. l'atténuation du changement climatique), font l'objet du Plan climat de la France, dont la dernière version a été publiée en juillet 2017. Préparé à la demande du Président de la République et du Premier ministre, le Plan Climat vise à mobiliser l'ensemble du gouvernement sur les années à venir pour faire de l'Accord de Paris une réalité pour les Français, pour l'Europe et pour l'action diplomatique de la France. La France est engagée dans différentes coalitions qui participent au renforcement des capacités des pays en développement, pour les aider à monter en compétence et élaborer et mettre en œuvre des politiques de réduction des émissions et d'adaptation au changement climatique. Le "Programme d'Efficacité Énergétique des Bâtiments" (PEEB) lancé sous l'égide de la GABC est financé par les gouvernements français et allemands, l'AFD et le FFEM et animé par l'AFD, l'ADEME et la GIZ. Initié dans 5 pays en développement, il est désormais mis en œuvre sur une vingtaine de pays et devrait être plus largement étendu grâce à un soutien possible du Fonds Vert pour le Climat. D'autres exemples illustrent le soutien financier et la contribution au renforcement de capacités, tels que l'initiative « Mobilise your City », qui soutient des Etats et villes de pays en développement dans l'élaboration de stratégies de mobilité urbaine durable, ou encore l'initiative sur les systèmes d'alerte précoce pour la résilience au changement climatique (CREWS), qui agit pour l'amélioration des systèmes d'alertes précoces face aux catastrophes naturelles dans les pays les moins avancés, avec pour objectif la mobilisation de 100 millions de dollars d'ici 2020 pour ce sujet peu représenté dans les aides multi ou bilatérales. Afin de renforcer les capacités en matière d'adaptation et de trajectoires de long terme ainsi que soutenir leur intégration dans les politiques publiques nationales, l'Agence française de développement a développé deux Facilités. La « Facilité Adapt'Action » qui propose un appui technique pour la mise en œuvre des contributions des pays les plus vulnérables au dérèglement climatique. Dotée de 30 millions d'euros sur la période 2017-2021, Adapt'Action bénéficie à 15 pays et organisations régionales, avec une priorité donnée à l'Afrique et aux petits États insulaires en développement. Autre initiative de l'AFD, la « Facilité 2050 », lancée en décembre 2017. Dotée également de 30 millions d'euros et actuellement engagée dans 16 pays, cette facilité a pour objectif de financer l'élaboration de stratégies à long terme.

La France a participé (et participe encore) à plusieurs projets visant à renforcer les capacités d'adaptation au changement climatique de ses membres. Des exemples figurent dans le tableau ci-dessous.

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
Global	Mitigation / adaptation	Facilité 2050	L'AFD a mis en place la « Facilité 2050 » en 2018. Dotée de 30 millions d'euros et actuellement engagée dans 16 pays, cette facilité a pour objectif de financer l'élaboration de stratégies à long terme de développement à faible émission de gaz à effet de serre, dont l'accord de Paris dispose que toute Partie doit s'employer à communiquer. De telles stratégies doivent inciter les parties prenantes à prendre dès aujourd'hui les bonnes décisions de développement de long terme.
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
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. (Développement sur autofinancement du Citepa)
China	Mitigation (avec co-bénéfices pollution atmosphérique)	Centre sino-français	Création d'un Centre sino-français dédié à l'intégration des systèmes d'inventaires d'émissions de GES et de polluants atmosphériques, en unissant les expertises françaises (Citepa) et chinoises (Académie Chinoise de Recherche en Sciences Environnementales de Pékin -CRAES), suite à des contacts de 2014. Le centre promeut les bonnes pratiques en matière d'inventaire d'émissions de GES, de mesure, de rapportage et de vérification, au service des politiques publiques. Ces actions ont été présentées lors d'un side-event spécifique lors de la 5ème conférence internationale franco-chinoise sur l'environnement atmosphérique, qui a eu lieu à Xi'an en octobre 2016. Un atelier a également eu lieu à Paris, en mai 2017.
Southern Europe, Mediterranean basin, Europe, Vietnam	Adaptation	Bilateral and multilateral cooperations	L'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC), a participé à différents travaux : <ul style="list-style-type: none"> le working group 6 installé par la Commission européenne pour le suivi des travaux d'adaptation au changement climatique et qui travaille actuellement

			<p>sur la révision de la stratégie de l'UE relative à l'adaptation au changement climatique ;</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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) ; <p>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.</p>
Multi-pays	Mitigation	Mobilise Your City	<p>Lancé à la COP 21 comme initiative franco-allemande, le partenariat MobiliseYourCity s'est depuis largement étoffé, et travaille avec des multiples partenaires européens et internationaux, dans 15 pays et 60 villes en Afrique, Asie et Amérique Latine. Le partenariat comporte quatre piliers : i) l'élaboration de plans de développement durable de la mobilité urbaine (SUMP) et de politiques nationales de la mobilité urbaine (NUMPs) pour améliorer la mobilité et réduire les émissions de GES ; ii) le financement d'actions pilotes pour la promotion des modes doux ou la modernisation du transport artisanal ; iii) des actions de plaidoyers auprès des villes et gouvernements pour qu'ils s'engagent dans des politiques de mobilité urbaine nationales ou locales visant la réduction de GES ; enfin iv) du renforcement de capacités de ces acteurs locaux et nationaux (formations et appuis méthodologiques, échanges entre pairs, etc.).</p>
Méditerranée, Asie, Afrique Subsaharienne , Amérique Latine	Mitigation	PEEB - Programme pour l'Efficacité Energétique des Bâtiments	<p>Initiative franco-allemande, le Programme pour l'Efficacité Energétique des Bâtiments (PEEB) contribue à l'Alliance mondiale pour le bâtiment et la construction (GABC). Lancé à la COP 22, le PEEB est structuré autour d'une facilité de coopération technique et financière qui vise à soutenir l'amélioration de la performance énergétique et environnementale et la résilience aux effets du changement climatique du secteur du bâtiment.. Le PEEB s'organise en trois composantes principales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Composante 1 : Assistance technique au niveau du pays pour stimuler le renforcement des capacités des acteurs de la filière du secteur du bâtiment, des cadres légaux et réglementaires favorisant la prise en compte de l'EE dans les projets de construction et de rénovation ; • Composante 2 : Assistance technique au niveau des projets, en phase d'étude et de mise en œuvre, afin d'améliorer la performance énergétique et environnementale des projets de construction/rénovation de bâtiments de grande envergure ;

			<ul style="list-style-type: none"> Composante 3 : Financement en phase d'investissement des projets sous maîtrise d'ouvrage publique ou privée présentant un fort potentiel de transformation du secteur du bâtiment ; <p>Les financeurs initiaux du PEEB sont le FFEM, l'AFD et le MTES pour la France ; le BMU pour l'Allemagne.</p> <p>Les Agences d'exécution du Programme sont l'AFD, l'ADEME et la GIZ. L'AFD assure actuellement la présidence du comité de pilotage du programme.</p> <p>La GIZ et l'ADEME concentrent principalement leurs activités sur la composante 1 du programme, l'AFD sur les composantes 2 et 3 (préparation et financement de projets)</p> <p>Dans la phase initiale du Programme, cinq pays pilotes ont été visés : Maroc, Mexique, Sénégal, Tunisie et Vietnam. Dans la phase actuelle de déploiement, le Programme a élargi ses appuis à plus de 30 pays.</p> <p>Depuis son lancement en 2018, le PEEB a permis d'identifier un portefeuille de plus de 40 projets représentant une valeur d'investissement de plus de 3 Mds€. 25 de ces projets bénéficient d'ores et déjà d'un appui du PEEB.</p>
Amérique latine et Caraïbes Maroc, Algérie, Tunisie, Liban		Appui à la mise en place d'un système de monitoring de l'efficacité énergétique (indicateurs d'efficacité énergétique et évaluation des politiques d'efficacité énergétique)	<p>Dans la continuité du projet européen Odyssee Mure mené depuis plus de 20 ans et qui a permis le développement et la mise en œuvre dans l'Union européenne d'une méthodologie d'évaluation des économies d'énergie sur la base d'indicateurs d'efficacité énergétique, l'Ademe soutient la déclinaison de cette méthodologie :</p> <p>Au Maroc, en Algérie, en Tunisie et au Liban de 2012 à 2014 dans le cadre de MEDENER (Association méditerranéenne des agences nationales de maîtrise de l'énergie) ;</p> <p>Depuis 2014 dans une vingtaine de pays d'Amérique Latine et des Caraïbes avec le CEPAL-UN (Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes des Nations unies) dans le cadre de l'IPEEC (International Partnership for Energy Efficiency Cooperation) ;</p> <p>Depuis 2016, un travail plus en détail est mené avec le Mexique dans le cadre d'une coopération avec le CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) soutenue par l'AFD.</p>
Maroc	Appui au renforcement du secteur de l'Energie	Jumelage entre le MTES et le MEMDD	<p>La France (MTE) 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).</p> <p>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).</p>
Africa	Cities, Mitigation and adaptation	CICLIA	<p>La Facilité CICLIA 1 (12,4M Eur, en cofinancement UE/SECO/AFD), mobilisable rapidement, est un levier pour l'investissement des collectivités locales d'Afrique subsaharienne afin de lutter contre le changement climatique (déjà 16 villes soutenues, 6.4 MEUR engagés). CICLIA propose un appui à la préparation et la mise en œuvre de stratégies et de projets urbains à fort co-bénéfice climat. Les études de faisabilité et de vulnérabilité ainsi que le renforcement de capacités couvrent l'ensemble des secteurs de l'aménagement urbain (éclairage public, déchets solides, eau urbaine, résilience climatique des quartiers précaires, mobilité durable, gestion du risque de catastrophes naturelles, etc.).</p>

Afrique francophone	Capacity building	Atelier pour les négociatrices africaines francophones	L'objectif de cet atelier, organisé dans le cadre du partenariat franco-canadien sur le climat et en partenariat avec l'Office international de la Francophonie, est de renforcer les capacités des négociatrices africaines francophones en matière de climat, tant en termes de connaissances liées au climat que des négociations elles-mêmes. Le premier atelier a eu lieu au Sénégal en 2018 et a rassemblé une vingtaine de femmes leaders dans le domaine du climat, issues de 15 pays d'Afrique subsaharienne. Une deuxième édition a eu lieu en octobre 2019 au Rwanda. A l'issue de l'atelier et à l'initiative de la France, un système de parrainage a été mis en place pour assurer le parrainage des femmes bénéficiaires de la formation.
Global	Long-term strategies and capacity building	Facilité 2050	D'un montant global de 30M€, la facilité 2050 vise à accompagner les pays en développement dans l'élaboration de stratégies à long terme de développement bas carbone et résilient et de renforcer la gouvernance climat de ces pays.

- **Mise en place d'un système national de rapportage (inventaire de GES, projections, préparation de NAMA's)**

La France participe depuis 2014, techniquement et financièrement, aux activités du « cluster francophone » en cofinçant 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. Il 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.

Critères de choix des projets MDP

Les critères de choix retenus pour les projets au titre du mécanisme pour un développement propre (MDP) constituent également un moyen de réduire les conséquences néfastes pour les pays en développement. Dans le cadre de la mise en place de projets MDP, la France a délivré en 2016 des lettres d'autorisation pour des projets de traitement par torchage de méthane issu des déchets au Brésil.

15.2 Ressources financières

Lors de l'Assemblée Générale des Nations Unies, en septembre 2015, la France a annoncé une augmentation de ses financements climat annuels de 3 Md€ en 2015 à 5 Md€ en 2020, dont 1 Md€ seront consacrés au financement de l'adaptation aux changements climatiques. Fin 2017, la France a annoncé le rehaussement de la part consacrée à l'adaptation au changement climatique, qui a été portée à 1,5 Md€ en 2020. Le Comité interministériel de la coopération internationale et du développement (CICID) du 8 février 2018 inscrit l'aide publique au développement (APD) parmi les priorités du gouvernement jusqu'en 2022 et réaffirme l'objectif général de l'éradication de la pauvreté, la mise en oeuvre des Objectifs de développement durable (ODD), de l'Accord de Paris et

la protection des biens communs mondiaux. Il réaffirme également l'orientation prioritaire de l'aide au développement française vers l'Afrique.

Entre 2013 et 2017, la France a augmenté de 67% ses financements publics pour l'atténuation et l'adaptation aux changements climatiques dans les pays en développement, à travers des sources bilatérales et multilatérales. En 2017, le volume total de financements fournis par la France s'établissait ainsi à près 4,4 milliards d'euros (4,9 Mds USD), contre 2,6 milliards d'euros en 2013 (3,5 md USD).

En 2018, la France a fourni plus de 5 milliards d'euros de financements publics pour l'atténuation et l'adaptation aux changements climatiques dans les pays en développement, à travers des sources bilatérales et multilatérales. Ce niveau d'engagements a connu une nette progression supplémentaire par rapport à 2017 (+15 %) et porte à plus de 33 milliards d'euros le total des financements en faveur du climat engagés depuis 2005, principalement à travers l'activité du groupe Agence française de développement.

Coopération bilatérale

Soutien financier fourni par le groupe Agence française de développement

L'AFD, opérateur principal de l'aide publique bilatérale au développement français, a développé une stratégie climat ambitieuse pour la période 2017-2022, avec un objectif phare, celui de rendre cohérents l'ensemble des financements du Groupe AFD avec un développement bas-carbone et résilient. Cet objectif « 100% Accord de Paris » est désormais l'un des piliers du Plan d'orientation stratégique adopté en 2018 pour le Groupe AFD. Ainsi, le groupe (y compris Proparco) s'est fixé comme objectif d'allouer 50% de ses engagements financiers dans les Etats étrangers à des projets ayant des co-bénéfices climat. Le plan implique également de s'assurer que les 50% des financements du Groupe AFD qui n'ont pas de co-bénéfices climat ne nuisent pas aux objectifs de l'Accord de Paris.

Au cours des dernières années, les financements climat de l'AFD ont significativement augmenté, passant de 3.6 milliards en 2016 à 6 milliards en 2019.

En 2019, le groupe AFD a engagé 6,1 Mds€ de financements climat, dont 2Mds€ pour l'adaptation, correspondant à une participation au financement de 273 projets de développement ayant des co bénéfices en matière de lutte contre le dérèglement climatique et ses effets. Le niveau d'engagements a connu une nette progression par rapport à 2018 (+27%) où les engagements climat ont atteint 4,8Mds€.

En 2020, le total des engagements climat s'est établi à 5,1 Mds€, en repli par rapport à 2019 mais au-delà de l'objectif pris à la COP21 en 2015 de fournir 5 milliards de financements pour le climat par an d'ici 2020. L'objectif de financer 1,5 Md€ pour l'adaptation a été largement dépassé avec un montant de 2,29 Mds€, soit une part de près de 45% du total des financements pour le climat. Les financements pour le climat en 2020 représentent 50% des engagements totaux du groupe AFD (hors financements dans les territoires ultramarins français).

Afin de s'assurer que les financements fournis répondent aux besoins des pays récipiendaires en matière d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques, les agences locales de l'AFD identifient les projets et besoins des pays récipiendaires en lien avec les partenaires et maîtrise d'ouvrage assurée par ces pays. Elle s'appuie également sur la signature de contrats de financement

avec les autorités nationales et locales des pays d'intervention. En outre, l'AFD a déployé, à la suite de la COP21, plusieurs instruments spécifiques permettant d'accompagner la mise en œuvre des engagements climatiques des pays en développement.

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). Le Fonds a été reconstitué en fin d'année 2014 pour la période 2015-2018 à hauteur de 90 M€ puis de 120 M€ sur la période 2019-2022. Le Fonds a déjà permis de soutenir 333 projets dans plus de 120 pays, dont les deux tiers en Afrique.

Entre 2015 et 2018, le FFEM a ainsi alloué un volume d'engagement total de 72 M€, dont 32 M€ consacrés à la lutte contre les changements climatiques (soit 45 % de ses engagements financiers totaux). Sur cette période, 60 projets ont été soutenus, dont 38 projets en Afrique. 70 % des projets de l'ensemble des projets de cette période ont été portés par des ONG ou des entités publiques locales.

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, 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'Economie 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 développement³⁹. Les secteurs concernés visent essentiellement le développement durable et la thématique du changement climatique (transports de masse, eau et environnement, énergies renouvelables, etc.).

En 2018, 44 M€ ont été engagés sous forme de prêt non concessionnel en faveur du climat (1 projet), et 2,4 M€ sous forme de dons dans le cadre de FASEP (6 projets)⁴⁰.

³⁹ Lorsqu'il s'agit de prêts non concessionnels, cet instrument n'est pas comptabilisé dans les flux français d'aide publique au développement mais dans les Autres apports du secteur public (AASP).

⁴⁰ La Biélorussie, la Turquie et l'Ukraine, qui sont des pays éligibles à l'APD, et donc aux Prêts concessionnels du Trésor et au FASEP, mais qui sont considérés comme des pays développés au sein de la CCNUCC (pays Annexe I), ne sont pas considérés dans le cadre du rapportage à la CCNUCC.

Coopération multilatérale

Avec une contribution de 12,5 milliards de dollars en 2018, 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. Elle considère que le système multilatéral se doit d'être exemplaire et moteur en matière de lutte contre les changements climatiques, 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. La France comptabilise la part « climat » imputable à sa contribution dans ces fonds concessionnels. **En 2018, la part « climat » des décaissements réalisés dans ces institutions est estimée représenter 372 M€.**

Contribution au Fonds vert pour le climat

La France contribuera par ailleurs à hauteur de 1,5 Md€ (1,7 Md\$) à la reconstitution du Fonds vert pour le climat sur la période 2019-2023. Cet engagement fort, qui représente un effort budgétaire important, place la France au rang de troisième contributeur (en élément-don⁴¹) à la reconstitution derrière le Royaume-Uni et l'Allemagne, et quatrième contributeur historique derrière ces pays et le Japon. Cette contribution sera apportée essentiellement en don (80 %), les 20 % restants étant apportés sous forme d'un prêt très concessionnel (taux zéro, maturité 25 ans). Cette contribution s'ajoute à la première contribution réalisée par la France lors de la mobilisation initiale des ressources, à hauteur de 774 M€, dont le versement a été achevé en 2018. **En 2018 la France a apporté une contribution financière de 160 M€ au Fonds vert pour le climat.**

Le Fonds vert pour le climat vise un équilibre entre les financements dédiés à l'atténuation aux changements climatiques et ceux dédiés à l'adaptation. Fin 2018, 57 % des engagements du fonds visaient des projets d'atténuation, contre 43 % pour l'adaptation.

Contribution au Fonds pour l'environnement mondial

En outre, **la France contribue à hauteur de 300 M\$ au Fonds pour l'environnement mondial pour la période 2015-2018** (dont environ près de 40 %, sont dédiés spécifiquement au financement d'actions liées aux changements climatiques). Ce fonds intervient, outre pour 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. La France apporte la cinquième contribution en valeur à ce fonds. **En 2018 la France a versé 32,5 M€ à ce fonds.**

⁴¹ Si la contribution totale était prise en compte et non l'élément-don uniquement, la France se placerait devant l'Allemagne dans ces classements.

En outre, le Fonds multilatéral du Protocole de Montréal relatif à la préservation de la couche d’ozone (FMPM)⁴², dont la contribution française s’élève à 34,04 M€ pour la période 2018-2020, inclut depuis 2018 l’élimination de substances à fort pouvoir de réchauffement climatique. **En 2018 la France a contribué à hauteur de 11,3 M€.**

Contribution au Fonds pour les pays les moins avancés

La France a apporté **10 M€ en 2017 et 7,5 M€ en 2018 au fonds pour les Pays les Moins Avancés (Least Developed Countries Fund)**, qui soutient des projets d’adaptation aux changements climatiques dans les PMA (dont 70 % en faveur de l’Afrique).

Contribution au Fonds d’adaptation

Le Fonds d’adaptation a été institué en 2007 et est placé sous le protocole de Kyoto. Il a mobilisé environ 800 MUSD depuis sa création. Il est dédié au financement exclusif de projets d’adaptation dans les pays en développement, ciblant en particulier les plus vulnérables. **La France a contribué à hauteur de 15 M€ au fonds d’adaptation en 2018.**

15.3 Transfert de technologie

En plus des canaux bilatéraux et multilatéraux de l’aide publique au développement, 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.

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

⁴² Les négociations sur la 10^{ème} reconstitution du Fonds multilatéral de mise en œuvre du protocole de Montréal (2018-2020) ont été finalisées en novembre 2017. Le montant total de la reconstitution s’élève à 540 MUS\$. La France, dont la contribution est fixée par barème onusien, est le 4^{ème} contributeur avec un total de 34,04 M€ sur les trois ans.

établie en octobre 2010, la CEM (Clean Energy Ministerial) ou encore l'IPEEC (International Partnership for Energy Efficiency Cooperation). La France apporte également une contribution forte à l'IRENA (International Renewable Energy Agency), qui a une vocation forte d'appui aux pays. Par ailleurs, dans le cadre de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et de l'accord de Paris sur le climat les transferts de technologie et le partage d'expériences sur les technologies climat sont mis en avant. Un Mécanisme technologique a été créé en 2010 pour soutenir les transferts de technologies en appui à l'atténuation et à l'adaptation au changement climatique vers les pays en développement. La France contribue aux travaux des deux instances créées sous ce Mécanisme, le Climate Technology Center & Network (CTCN) et le Technology Executive Committee (TEC). Les travaux du PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) ou de la FAO (Food and Agriculture Organisation) favorisent aussi le partage d'expérience et d'outils utiles à la transition bas-carbone.

La coopération technologique telle que représentée dans la table ci-dessous doit être comprise au sens large, et intègre notamment des transferts de savoir-faire, de méthodes, ou d'outils, nécessaires à la mise en œuvre des technologies de la transition bas-carbone. Le tableau ici présenté n'a aucune vocation à être exhaustif, mais vise plutôt à montrer via quelques exemples comment les secteurs publics et privés français se sont saisis de la question à tous les niveaux. Ceci permet de générer une coopération technologique de grande ampleur allant au-delà des canaux bilatéraux et multilatéraux classiques de l'aide publique au développement.

Mesures et activités liées au transfert de technologies

Pays ou région	Objectif	Mesures et activités liées au transfert de technologie	Secteur	Provenance du financement	Activités entreprises par	Statut	Informations complémentaires
Zambie	Atténuation	Mise en place d'un méthaniseur à Lusaka (Zambie) dans le quartier de Mutendere: L'objectif du projet est d'explorer le potentiel de la filière de la production de biogaz dans le cadre d'une opération pilote à partir des déchets organiques dans le quartier de Mutendere qui permettra l'implantation d'unités de méthanisation avec distribution de biogaz dans ce quartier.	Energie /déchets	Ministère de la transition énergétique et solidaire, via l'Ademe	entreprises Bioéco et ses partenaires de Zambie	Projet achevé (2018-2020)	Le projet comprenait : - L'organisation d'un réseau de collecte ; - La mise en place d'une unité de méthanisation de 1000 m³ de boues de vidange et 2000 t de déchets organiques et la vente du biogaz aux populations locales ; - l'accompagnement des partenaires zambiens (formation, suivi de la construction et de l'exploitation sur 12 mois minimum pour s'assurer de la pérennité du projet).
Cameroun	Atténuation	Femmes et énergie durable - Appui au réseau des femmes maires du Cameroun: le projet vise le renforcement du réseau des femmes élues locales du Cameroun et à la mise en œuvre d'actions pilotes pour l'éclairage public et la fourniture électrique de bâtiments publics.	énergie	AIMF, Fondation Veolia, Ademe (financement du Ministère de la transition énergétique et solidaire) , FEICOM ainsi que les communes visées	Secrétariat du réseau des femmes élues locales du Cameroun	Projet achevé (2018-2020)	Le projet a bénéficié à 2 villes sur sa phase 1 (Bangangté et Fokoué), puis 5 nouvelles villes sur sa phase 2 (Mayo Oulo, Mbengwi, Angossas, Afanloum, Mintom). A terme, l'objectif est le renforcement durable des systèmes énergétiques communaux en assurant une autonomie énergétique et une maîtrise d'ouvrage des technologies de production et de distribution des énergies renouvelables pour l'éclairage public et les bâtiments publics. montant global du programme: 1 100 k€.

Pays ou région	Objectif	Mesures et activités liées au transfert de technologie	Secteur	Provenance du financement	Activités entreprises par	Statut	Informations complémentaires
Pays en développement éligibles à l'aide publique au développement	Atténuation et adaptation	L'objectif de la facilité FISP-Climat est de promouvoir les innovations dans le secteur du changement climatique, portées par les acteurs privés.	Energie	FFEM	Entreprises privées du Nord comme du Sud	Appels à projets en 2013, 2014, 2015, 2016 et 2018	Pour chaque appel à projets environ 5 projets sont retenus. Parmi les projets actuellement réalisés et opérationnels, il y a la production d'électricité à partir de centrales gazogènes utilisant de la balle de riz et des déchets de bois au Cambodge, la collecte et la combustion de paille de canne à sucre pour la production d'électricité dans des centrales de cogénération charbon/bagasse à Maurice, la réalisation d'une unité de dessalement solaire d'eau de mer sans batterie à Maurice.

Pays ou région	Objectif	Mesures et activités liées au transfert de technologie	Secteur	Provenance du financement	Activités entreprises par	Statut	Informations complémentaires
Monde	Atténuation	La France est membre fondateur et accueille à Paris le siège de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE). Celle-ci permet en particulier l'appui et l'accélération des transferts de technologie, ainsi que le partage d'expériences, dans les domaines de l'énergie et de l'efficacité énergétique	Energie	Public	Public	Installé	Fondée à l'OCDE en 1974, à la suite du premier choc pétrolier, sa mission initiale était de coordonner les mesures à prendre en temps de crise des approvisionnements pétroliers. Si cette mission reste au cœur de ses activités, son mandat s'est progressivement élargi pour prendre en considération la sécurité énergétique, le développement économique et durable, et plus récemment les enjeux climatiques. L'AIE facilite la coordination des politiques énergétiques de ses 29 pays membres, qui s'emploient à assurer pour leurs citoyens des approvisionnements en énergie fiables, propres et à des prix abordables. L'AIE est l'organisation de référence dans le domaine de l'énergie, et produit chaque année le rapport de référence en matière énergétique au niveau mondial, le World Energy Outlook (WEO).

Monde	Atténuation et Adaptation	A travers des soutiens humains et financiers, et une coopération en renforcement, la France travaille activement au sein de l'IRENA (Agence internationale de l'énergie renouvelable) pour faciliter la transition énergétique des pays en développement, vers une croissance sobre en carbone. La France est d'ailleurs le sixième contributeur de l'Agence (1,4 MUSD en 2012).	Energie	Public	Public	Installé	La montée en puissance de l'agence, créée en 2009 et comptant aujourd'hui plus d'une centaine de membres, mérite d'être saluée. Cette agence se veut opérationnelle en fournissant une plateforme d'appui aux pays souhaitant mettre en œuvre les énergies renouvelables. Elle permet le développement et le partage d'outils favorisant le déploiement des énergies renouvelables à grande échelle et dans tous les pays. L'appui qu'elle fournit spécifiquement aux pays en développement, dont les moins avancés et les petites îles, est jugé prioritaire par la France. Cette Agence inscrit aujourd'hui son action dans le cadre fédérateur de la démarche Sustainable Energy for All (SE4All) proposé par le secrétaire général des Nations Unies. Poussant trois objectifs importants pour un développement sobre en carbone, cette initiative large a permis de catalyser l'action en offrant un cadre commun et une visibilité accrue à ces enjeux. La France participe activement à cette initiative, directement en apportant un appui humain ou en mobilisant ses acteurs de la coopération sur le terrain, ou indirectement à travers l'action de l'Union Européenne et la facilité financière mise en place. L'accès à l'énergie est un thème cher à la France qu'elle porte à travers ses actions de coopération.
-------	---------------------------	--	---------	--------	--------	----------	---

Pays ou région	Objectif	Mesures et activités liées au transfert de technologie	Secteur	Provenance du financement	Activités entreprises par	Statut	Informations complémentaires
Monde	Atténuation et Adaptation	La France fait partie des principaux financeurs du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Celui-ci contribue à la diffusion de technologies et savoir-faire pour lutter contre le changement climatique via plusieurs programmes, comme par exemple le cadre décennal de programmation sur les modes de consommation et de production durables (10YFP). Le PNUE est également hôte du Centre et Réseau des Technologies Climatiques, qui est le bras armé du Mécanisme technologique de la CCNUCC.	Autre (transversal)	Public	Public	Installé	<p>Les principaux objectifs du PNUE sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Promouvoir la coopération internationale dans le domaine de l'environnement et recommander des politiques orientées dans ce sens ; - Étudier la situation de l'environnement dans le monde afin de s'assurer que les problèmes de portée internationale dans ce domaine font l'objet, de la part des gouvernements, d'un examen approprié ; - Gérer les ressources du Fonds pour l'Environnement, qui finance le programme d'action du PNUE. <p>Il est à noter que la France est le 4ème contributeur de ce fonds, avec une contribution annuelle de 5 850 000 USD en 2012. Au niveau de 10YFP, la France s'est beaucoup mobilisée dans l'élaboration de ce cadre et pilotait un des sept groupes de travail du processus de Marrakech, celui sur le tourisme durable. Aujourd'hui, la France assure la vice-présidence (2013-2015) du Partenariat mondial pour le tourisme durable après deux ans de présidence. La France s'investit aussi sur d'autres programmes du 10YFP, notamment ceux portant sur l'information des consommateurs et les bâtiments durables.</p>

16 Déclarations relatives à d'autres informations pertinentes pour le changement climatique

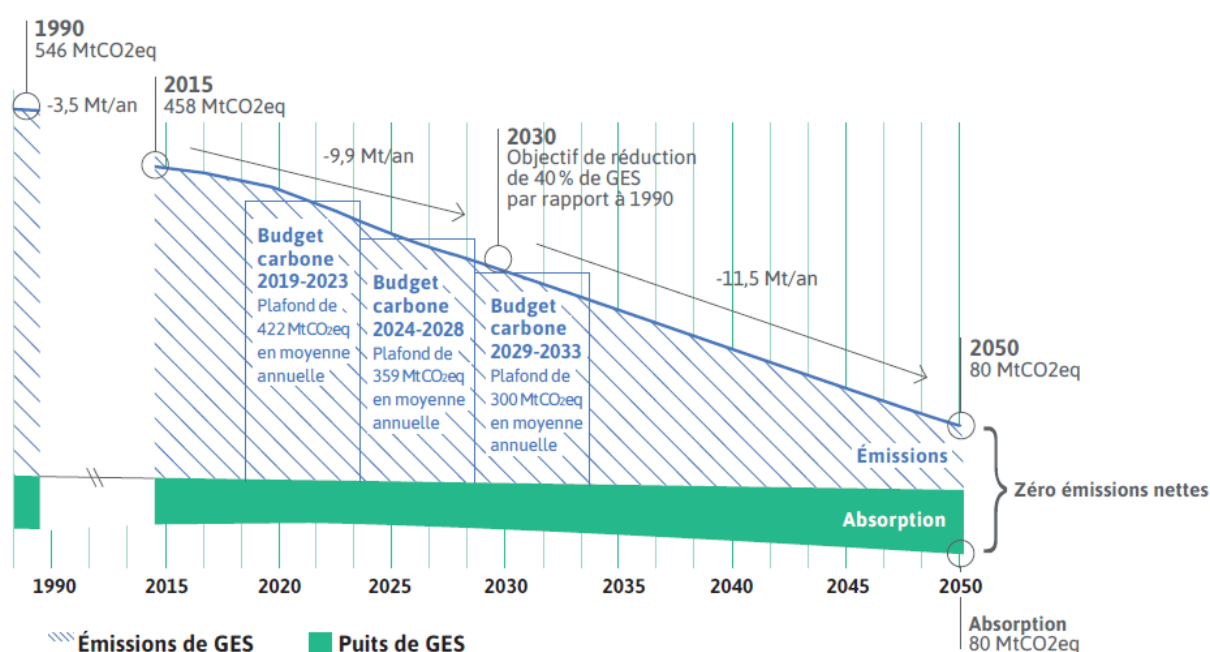
Déclarations relatives à d'autres informations pertinentes pour le changement climatique

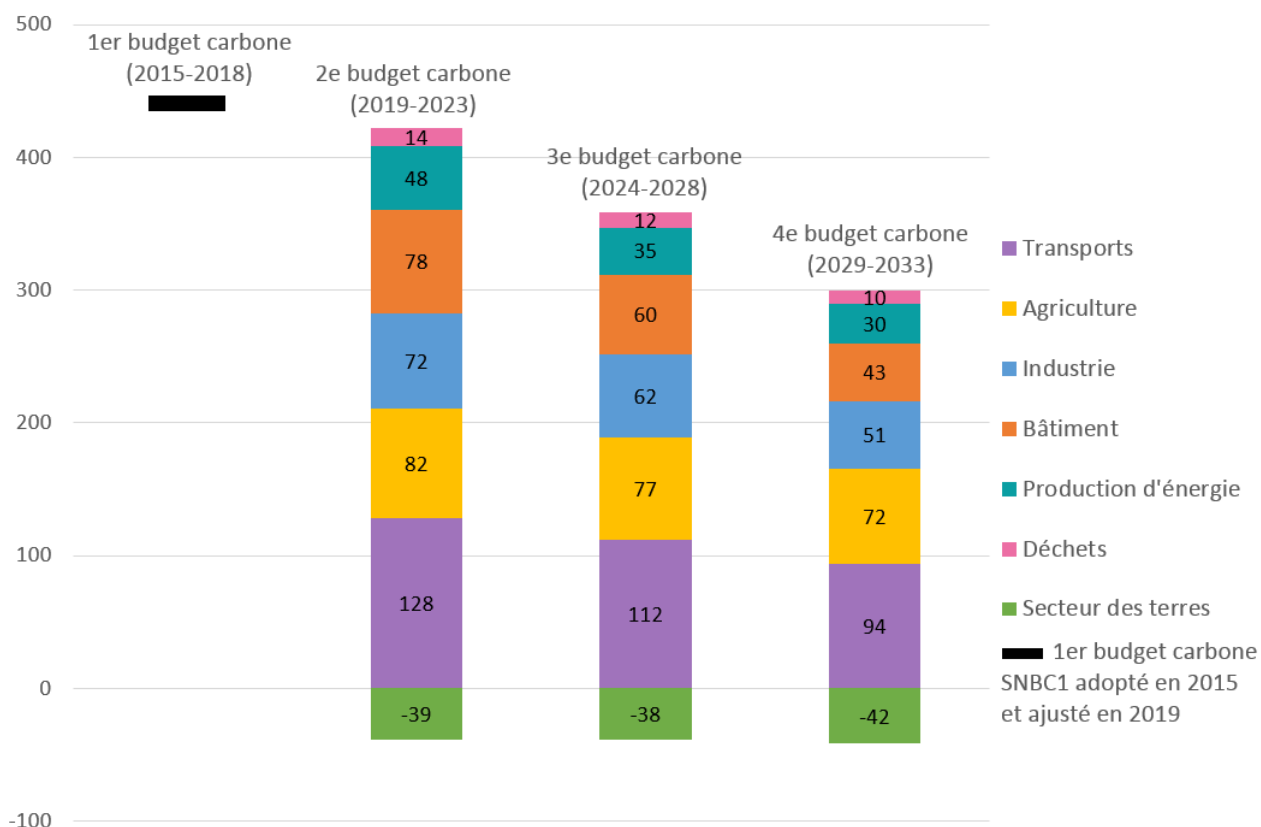
Adoption de la Stratégie Nationale Bas-Carbone de la France

En juillet 2017, le Gouvernement a publié un nouveau **Plan climat** pour accélérer la transition énergétique et climatique et la mise en œuvre de l'accord de Paris. Ce plan fixe des orientations fortes, notamment, **l'atteinte de la neutralité carbone vers le milieu du siècle**, l'objectif de la disparition des « passoires thermiques » dans le secteur du bâtiment en 10 ans avec 4 milliards d'euros dédiés à la rénovation énergétique, la fin de la vente des voitures émettant des gaz à effet de serre en 2040, l'arrêt des dernières centrales électriques au charbon d'ici 2022, la sortie progressive de la production d'hydrocarbures sur le territoire français à l'horizon 2040, et un doublement de l'effort de recherche publique dans le domaine de la transition énergétique.

Dans le même temps la **Stratégie Nationale Bas-Carbone a été révisée en visant l'atteinte de la neutralité carbone en 2050** avec un point de passage intermédiaire de 40 % en 2030 par rapport à 1990. Elle reprend les grandes orientations du Plan Climat. La 2ème Stratégie Nationale Bas-Carbone et les budgets carbone pour les périodes 2019-2023, 2024-2028 et 2029-2033 ont été adoptés par décret le 21 avril 2020.

Évolution des émissions et des puits de GES sur le territoire français entre 1990 et 2050 (en MtCO₂eq). Inventaire CITEPA 2018 et scénario SNBC révisée (neutralité carbone)





Budgets carbone annuels indicatifs 2019-2023, 2024-2028 et 2029-2033 par secteur

La loi du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat a inscrit dans la loi l'objectif de neutralité carbone à horizon 2050 en précisant que les émissions brutes d'origine anthropique doivent être divisées par un facteur d'au moins 6 par rapport à 1990, les émissions résiduelles devant être compensées par des absorptions d'origine anthropique. Elle confirme l'objectif de réduction des émissions de 40 % d'ici à 2030. Elle instaure par ailleurs un ensemble de mesures couvrant différents domaines de la transition énergétique, notamment concernant la lutte contre les passoires thermiques dans le bâtiment mais aussi la création ou la révision d'outils de pilotage, de gouvernance et d'évaluation de la politique nationale sur le climat. D'autres textes de loi (loi d'orientation des mobilités, loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire) complètent la loi énergie-climat dans la mise en place de mesures sectorielles de lutte contre le changement climatique. Enfin, une loi portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets a été adoptée en août 2021, et a introduit de nombreuses mesures additionnelles dans l'ensemble des secteurs.

La prochaine révision de la SNBC interviendra mi-2024, mais les travaux techniques correspondant ont démarré dès l'automne 2021 afin de préparer la loi de programmation sur l'énergie et le climat qui fixera les grands objectifs et devra être adoptée mi-2023.

Stratégie et planification de l'adaptation au changement climatique au niveau national

Le Gouvernement a publié en décembre 2018 - après une période de consultation - un nouveau Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-2) qui est mis en œuvre pendant la période 2018-2022. Son objectif est de mieux protéger les Français face aux événements climatiques extrêmes, mais aussi de construire la résilience des principaux secteurs de l'économie (dont agriculture, logement, transports, industrie, tourisme) face aux changements climatiques. Pendant la période 2018-2022, la France augmente ses financements dédiés à l'adaptation de ses territoires et de son économie pour agir dans les territoires métropolitains et d'outre-mer sur la prévention des impacts du changement climatique, la résilience et la mobilisation des solutions d'adaptation basées sur la nature. L'adaptation au changement climatique du territoire français en métropole et en outre-mer est également considérée comme un enjeu majeur qui doit être envisagé dans sa complémentarité essentielle aux actions d'atténuation déjà engagées et à venir.

Le début de l'action de l'État dans le domaine de l'adaptation au changement climatique a commencé par l'adoption de la Loi n° 2001-153 du 19 février 2001 conférant à la lutte contre l'effet de serre et à la prévention des risques liés au réchauffement climatique la qualité de priorité nationale et portant création d'un Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC) en France métropolitaine et dans les départements et territoires d'outre-mer. Cette loi conférant à l'ONERC une mission explicite sur l'adaptation au changement climatique, s'ensuivit par l'adoption de la Stratégie nationale d'adaptation en 2006 et du premier Plan National d'Adaptation au Changement Climatique en juillet 2011. Au niveau régional et local, les actions d'adaptation sont mises en œuvre à travers les Schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET), les Schémas d'aménagement régionaux (SAR), les Schémas Régionaux Climat Air (SRCAE) Énergie et les Plans Climat Air Énergie Territoriaux (PCAET) qui doivent également posséder un volet adaptation.

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 anglais)	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC en
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 Dégadable
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
CRF	Common Reporting Format / Format de Rapport Commun
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 ₂ O	Protoxyde d'azote
NAPFUE	Nomenclature for Air Pollution of FUEls
NFR	Nomenclature For Reporting
NO _x	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 245 : Évaluation des catégories clés 2020 - analyse des niveaux d'émissions hors UTCATF - Tier 1

EVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES NIVEAUX D'EMISSIONS HORS UTCATF (*) - Périmètre Kyoto						
source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022			s_cle_hors.UTCATF.xlsx/s_cle_niv			
r		Gaz à effet	CO ₂	CO ₂	contribution	
a	Classement Source / Combustible	de serre	équivalent	équivalent	(%)	cumul (%)
n		direct	(kt)	(kt)		
g	CRF		1990	2020	2020	2020
1	1A3b Road Transportation	CO ₂	113 896	103 240	26,3%	26,3%
2	3A Enteric Fermentation	CH ₄	38 631	33 137	8,4%	34,7%
3	1A4b Residential / gas	CO ₂	21 134	25 232	6,4%	41,1%
4	3Da Direct N ₂ O emissions from managed soils	N ₂ O	27 839	23 998	6,1%	47,2%
5	1A4b Residential / oil	CO ₂	30 915	13 376	3,4%	50,6%
6	1A1a Public Electricity and Heat Production / gas	CO ₂	973	12 871	3,3%	53,9%
7	1A4a Commercial/Institutional / gas	CO ₂	8 127	12 655	3,2%	57,1%
8	5A Solid Waste Disposal	CH ₄	12 563	11 965	3,0%	60,2%
9	2F1 Refrigeration and Air Conditioning	HFC	0	10 785	2,7%	62,9%
10	1A4c Agriculture/Forestry/Fishing / oil	CO ₂	10 895	9 900	2,5%	65,4%
11	2C1 Iron and Steel Production	CO ₂	15 788	8 466	2,2%	67,6%
12	1A2g Manufacturing Industries / Other	CO ₂	10 598	7 073	1,8%	69,4%
13	1A4a Commercial/Institutional / oil	CO ₂	16 555	7 037	1,8%	71,2%
14	1A1a Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO ₂	2 557	6 837	1,7%	72,9%
15	1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO ₂	3 460	6 571	1,7%	74,6%
16	1A1a Public Electricity and Heat Production / coal	CO ₂	37 410	6 275	1,6%	76,2%
17	2A1 Cement Production	CO ₂	10 937	6 197	1,6%	77,8%
18	3Db Indirect N ₂ O Emissions from managed soils	N ₂ O	6 011	5 171	1,3%	79,1%
19	1A2c Chemicals / gas	CO ₂	6 695	5 138	1,3%	80,4%
20	2B10 Chemical Industry / Other	CO ₂	4 558	4 530	1,2%	81,5%
21	1A2f Non-metallic minerals / gas	CO ₂	3 840	4 355	1,1%	82,7%
22	1A1b Petroleum Refining / oil	CO ₂	11 413	3 825	1,0%	83,6%
23	3B Manure Management	CH ₄	3 461	3 796	1,0%	84,6%
24	1A1a Public Electricity and Heat Production / oil	CO ₂	8 209	3 622	0,9%	85,5%
25	1A3a Domestic Aviation	CO ₂	4 134	3 051	0,8%	86,3%
26	1A2a Iron and Steel / coal	CO ₂	4 271	2 757	0,7%	87,0%
27	1A2a Iron and Steel / gas	CO ₂	2 784	2 686	0,7%	87,7%
28	1A2f Non-metallic minerals / oil	CO ₂	6 080	2 654	0,7%	88,4%
29	1A2c Chemicals / oil	CO ₂	5 470	2 488	0,6%	89,0%
30	3B Manure Management	N ₂ O	2 819	2 350	0,6%	89,6%
31	5D Wastewater treatment and discharge	CH ₄	1 491	2 330	0,6%	90,2%
32	1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal	CO ₂	4 054	2 101	0,5%	90,7%
33	1A2d Pulp, Paper and Print / gas	CO ₂	2 071	2 082	0,5%	91,2%
34	2A2 Lime Production	CO ₂	2 750	1 997	0,5%	91,8%
35	1B2a Fugitive Emissions from Fuels / Oil	CO ₂	2 983	1 765	0,4%	92,2%
36	5C Incineration and open burning of waste	CO ₂	2 194	1 603	0,4%	92,6%
37	1A5a Other stationary	CO ₂	4 464	1 476	0,4%	93,0%
38	2B1 Ammonia Production	CO ₂	2 019	1 325	0,3%	93,3%
39	1A1b Petroleum Refining / gas	CO ₂	36	1 291	0,3%	93,6%
40	1A3d Domestic navigation	CO ₂	1 021	1 274	0,3%	94,0%
41	5B Biological treatment of solid waste	CH ₄	245	1 125	0,3%	94,3%
42	1A3b Road Transportation	N ₂ O	921	1 108	0,3%	94,5%
43	1A2f Non-metallic minerals / other fossil fuels	CO ₂	333	1 039	0,3%	94,8%
44	1A2c Chemicals / other fossil fuels	CO ₂	470	1 038	0,3%	95,1%
...
Total (*)			544 086	392 963		

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

Tableau 246 : Évaluation des catégories clés 1990 - analyse des niveaux d'émissions hors UTCATF - Tier 1

EVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES NIVEAUX D'ÉMISSIONS HORS UTCATF (*) - Périmètre Kyoto					
source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022			s_cle_hors_UTCATF_1990.xlsx/s_cle_niv		
r	a	Gaz à effet	CO ₂	contribution	
n	Classement Source / Combustible	de serre	équivalent	(%)	cumul (%)
g	CRF	direct	(kt)	1990	1990
1	1A3b Road Transportation	CO ₂	113 896	20,9%	20,9%
2	3A Enteric Fermentation	CH ₄	38 631	7,1%	28,0%
3	1A1a Public Electricity and Heat Production / coal	CO ₂	37 410	6,9%	34,9%
4	1A4b Residential / oil	CO ₂	30 915	5,7%	40,6%
5	3Da Direct N ₂ O emissions from managed soils	N ₂ O	27 839	5,1%	45,7%
6	1A4b Residential / gas	CO ₂	21 134	3,9%	49,6%
7	1A4a Commercial/Institutional / oil	CO ₂	16 555	3,0%	52,6%
8	2C1 Iron and Steel Production	CO ₂	15 788	2,9%	55,5%
9	2B3 Adipic Acid Production	N ₂ O	14 232	2,6%	58,2%
10	5A Solid Waste Disposal	CH ₄	12 563	2,3%	60,5%
11	1A1b Petroleum Refining / oil	CO ₂	11 413	2,1%	62,6%
12	2A1 Cement Production	CO ₂	10 937	2,0%	64,6%
13	1A4c Agriculture/Forestry/Fishing / oil	CO ₂	10 895	2,0%	66,6%
14	1A2g Manufacturing Industries / Other	CO ₂	10 598	1,9%	68,5%
15	1A1a Public Electricity and Heat Production / oil	CO ₂	8 209	1,5%	70,0%
16	1A4a Commercial/Institutional / gas	CO ₂	8 127	1,5%	71,5%
17	1A2c Chemicals / gas	CO ₂	6 695	1,2%	72,8%
18	2B2 Nitric Acid Production	N ₂ O	6 368	1,2%	73,9%
19	1A2f Non-metallic minerals / oil	CO ₂	6 080	1,1%	75,0%
20	3Db Indirect N ₂ O Emissions from managed soils	N ₂ O	6 011	1,1%	76,1%
21	1A2c Chemicals / oil	CO ₂	5 470	1,0%	77,2%
22	1A2f Non-metallic minerals / coal	CO ₂	4 970	0,9%	78,1%
23	1B1a Coal Mining and handling	CH ₄	4 780	0,9%	78,9%
24	2B10 Chemical Industry / Other	CO ₂	4 558	0,8%	79,8%
25	1A5a Other stationary	CO ₂	4 464	0,8%	80,6%
26	2B9 Fluorochemical production	HFC	4 374	0,8%	81,4%
27	1A2a Iron and Steel / coal	CO ₂	4 271	0,8%	82,2%
28	1A4b Residential / biomass	CH ₄	4 239	0,8%	83,0%
29	1A3a Domestic Aviation	CO ₂	4 134	0,8%	83,7%
30	1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal	CO ₂	4 054	0,7%	84,5%
31	1A2f Non-metallic minerals / gas	CO ₂	3 840	0,7%	85,2%
32	2C3 Aluminium Production	PFC	3 567	0,7%	85,8%
33	3B Manure Management	CH ₄	3 461	0,6%	86,5%
34	1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO ₂	3 460	0,6%	87,1%
35	1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / oil	CO ₂	2 995	0,6%	87,7%
36	1B2a Fugitive Emissions from Fuels / Oil	CO ₂	2 983	0,5%	88,2%
37	3B Manure Management	N ₂ O	2 819	0,5%	88,7%
38	1A2a Iron and Steel / gas	CO ₂	2 784	0,5%	89,2%
39	2A2 Lime Production	CO ₂	2 750	0,5%	89,7%
40	2B4 Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production	N ₂ O	2 573	0,5%	90,2%
41	1A1a Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO ₂	2 557	0,5%	90,7%
42	5C Incineration and open burning of waste	CO ₂	2 194	0,4%	91,1%
43	1A2c Chemicals / coal	CO ₂	2 149	0,4%	91,5%
44	1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / coal	CO ₂	2 083	0,4%	91,9%
45	1A2d Pulp, Paper and Print / gas	CO ₂	2 071	0,4%	92,2%
46	2B1 Ammonia Production	CO ₂	2 019	0,4%	92,6%
47	1A4b Residential / coal	CO ₂	1 969	0,4%	93,0%
48	1A4a Commercial/Institutional / coal	CO ₂	1 938	0,4%	93,3%
49	1B2b Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CH ₄	1 520	0,3%	93,6%
50	5D Wastewater treatment and discharge	CH ₄	1 491	0,3%	93,9%
51	1A2a Iron and Steel / oil	CO ₂	1 455	0,3%	94,2%
52	2D3 Non-energy products from fuels and solvent use / Other	CO ₂	1 434	0,3%	94,4%
53	1A2d Pulp, Paper and Print / oil	CO ₂	1 352	0,2%	94,7%
54	2C2 Ferroalloys Production	CO ₂	1 262	0,2%	94,9%
55	2B9 Fluorochemical production	PFC	1 191	0,2%	95,1%
...
Total (*)			544 086		

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

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Tableau 247 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2020 - analyse des évolutions des émissions hors UTCATF - Tier 1

EVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES EVOLUTIONS D'EMISSIONS HORS UTCATF (*) - Périmètre Kyoto							
source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022				s_cle_hors.UTCATF.xlsx/s_cle_evol			
ra n g	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 (%)
g	CRF		1990	2020			2020
1	1A3b Road Transportation	CO2	113 896	103 240	0,039	10,4%	10,4%
2	1A1a Public Electricity and Heat Production / coal	CO2	37 410	6 275	0,038	10,3%	20,8%
3	1A1a Public Electricity and Heat Production / gas	CO2	973	12 871	0,022	6,1%	26,8%
4	2F1 Refrigeration and Air Conditioning	HFC	0	10 785	0,020	5,4%	32,2%
5	2B3 Adipic Acid Production	N2O	14 232	10	0,019	5,1%	37,3%
6	1A4b Residential / gas	CO2	21 134	25 232	0,018	5,0%	42,3%
7	1A4b Residential / oil	CO2	30 915	13 376	0,016	4,5%	46,7%
8	1A4a Commercial/Institutional / gas	CO2	8 127	12 655	0,012	3,4%	50,1%
9	3A Enteric Fermentation	CH4	38 631	33 137	0,010	2,6%	52,7%
10	1A1a Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO2	2 557	6 837	0,009	2,5%	55,2%
11	1A4a Commercial/Institutional / oil	CO2	16 555	7 037	0,009	2,4%	57,6%
12	1A1b Petroleum Refining / oil	CO2	11 413	3 825	0,008	2,2%	59,8%
13	2B2 Nitric Acid Production	N2O	6 368	433	0,008	2,1%	61,9%
14	1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO2	3 460	6 571	0,007	2,0%	63,9%
15	3Da Direct N2O emissions from managed soils	N2O	27 839	23 998	0,007	1,9%	65,9%
16	1B1a Coal Mining and handling	CH4	4 780	10	0,006	1,7%	67,6%
17	2B9 Fluorochemical production	HFC	4 374	94	0,006	1,5%	69,1%
18	2C1 Iron and Steel Production	CO2	15 788	8 466	0,005	1,5%	70,6%
19	5A Solid Waste Disposal	CH4	12 563	11 965	0,005	1,4%	72,0%
20	1A2f Non-metallic minerals / coal	CO2	4 970	704	0,005	1,4%	73,4%
21	2C3 Aluminium Production	PFC	3 567	61	0,005	1,3%	74,7%
22	1A1a Public Electricity and Heat Production / oil	CO2	8 209	3 622	0,004	1,1%	75,8%
23	1A4b Residential / biomass	CH4	4 239	810	0,004	1,1%	77,0%
24	1A4c Agriculture/Forestry/Fishing / oil	CO2	10 895	9 900	0,004	1,0%	78,0%
25	1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / oil	CO2	2 995	174	0,004	1,0%	79,0%
26	2B4 Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production	N2O	2 573	104	0,003	0,9%	79,8%
27	1A5a Other stationary	CO2	4 464	1 476	0,003	0,9%	80,7%
28	1A2f Non-metallic minerals / oil	CO2	6 080	2 654	0,003	0,9%	81,6%
29	2A1 Cement Production	CO2	10 937	6 197	0,003	0,8%	82,4%
30	1A2f Non-metallic minerals / gas	CO2	3 840	4 355	0,003	0,8%	83,2%
31	1A2c Chemicals / oil	CO2	5 470	2 488	0,003	0,7%	83,9%
32	1A4b Residential / coal	CO2	1 969	82	0,002	0,7%	84,6%
33	3B Manure Management	CH4	3 461	3 796	0,002	0,6%	85,2%
34	1A4a Commercial/Institutional / coal	CO2	1 938	127	0,002	0,6%	85,9%
35	1A1b Petroleum Refining / gas	CO2	36	1 291	0,002	0,6%	86,5%
36	5D Wastewater treatment and discharge	CH4	1 491	2 330	0,002	0,6%	87,1%
37	2B10 Chemical Industry / Other	CO2	4 558	4 530	0,002	0,6%	87,7%
38	1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / coal	CO2	2 083	489	0,002	0,5%	88,2%
39	5B Biological treatment of solid waste	CH4	245	1 125	0,002	0,5%	88,7%
40	1A2a Iron and Steel / oil	CO2	1 455	166	0,002	0,4%	89,2%
41	1A2d Pulp, Paper and Print / oil	CO2	1 352	94	0,002	0,4%	89,6%
42	2B9 Fluorochemical production	PFC	1 191	0	0,002	0,4%	90,0%
43	3Db Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	6 011	5 171	0,002	0,4%	90,4%
44	1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal	CO2	4 054	2 101	0,002	0,4%	90,9%
45	1A2f Non-metallic minerals / other fossil fuels	CO2	333	1 039	0,001	0,4%	91,3%
46	1A2d Pulp, Paper and Print / coal	CO2	1 034	28	0,001	0,4%	91,6%
47	1A2c Chemicals / other fossil fuels	CO2	470	1 038	0,001	0,3%	92,0%
48	1A2b Non-Ferrous Metals / coal	CO2	954	2	0,001	0,3%	92,3%
49	1A2a Iron and Steel / gas	CO2	2 784	2 686	0,001	0,3%	92,6%
50	1A2c Chemicals / coal	CO2	2 149	936	0,001	0,3%	92,9%
51	1A2d Pulp, Paper and Print / gas	CO2	2 071	2 082	0,001	0,3%	93,2%
52	1A2g Manufacturing Industries / Other	CO2	10 598	7 073	0,001	0,3%	93,5%
53	1A3b Road Transportation	CH4	956	120	0,001	0,3%	93,8%
54	2F4 Aerosols	HFC	0	563	0,001	0,3%	94,1%
55	1B2b Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CO2	818	33	0,001	0,3%	94,4%
56	1A3d Domestic navigation	CO2	1 021	1 274	0,001	0,3%	94,6%
57	2C7 Metal Production / Other	SF6	721	8	0,001	0,3%	94,9%
	1A3c Railways	CO2	1 078	304	0,001	0,2%	95,1%
...
Total (*)			544 086	392 963			

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

(**) Analyse de l'évolution selon les bonnes pratiques du GIEC (cf. "IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories". équation 4.2. d. 4.15. vol. 1. chap.4)

TIER 1 - ANALYSE AVEC UTCATF

Tableau 248 : Évaluation des catégories clés 2020 - analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF - Tier 1

EVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES NIVEAUX D'EMISSIONS AVEC UTCATF (*) - Périmètre Kyoto						
source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022			s_cle_avec.UTCATF.xlsx/s_cle_niv			
r	a	Gaz à effet	CO ₂	CO ₂	contribution	cumul (%)
n	Classement Source / Combustible	de serre direct	équivalent (kt)	équivalent (kt)	(%)	
g	CRF		1990	2020	2020	2020
1	1A3b Road Transportation	CO2	113 896	103 240	21,8%	21,8%
2	3A Enteric Fermentation	CH4	38 631	33 137	7,0%	28,8%
3	1A4b Residential / gas	CO2	21 134	25 232	5,3%	34,1%
4	4A1 Forest Land remaining Forest Land	CO2	32 357	24 144	5,1%	39,2%
5	3Da Direct N2O emissions from managed soils	N2O	27 839	23 998	5,1%	44,2%
6	4B2 Land converted to Cropland	CO2	20 999	18 340	3,9%	48,1%
7	1A4b Residential / oil	CO2	30 915	13 376	2,8%	50,9%
8	1A1a Public Electricity and Heat Production / gas	CO2	973	12 871	2,7%	53,6%
9	1A4a Commercial/Institutional / gas	CO2	8 127	12 655	2,7%	56,3%
10	5A Solid Waste Disposal	CH4	12 563	11 965	2,5%	58,8%
11	2F1 Refrigeration and Air Conditioning	HFC	0	10 785	2,3%	61,1%
12	4E Settlements	CO2	9 092	10 744	2,3%	63,4%
13	1A4c Agriculture/Forestry/Fishing / oil	CO2	10 895	9 900	2,1%	65,5%
14	2C1 Iron and Steel Production	CO2	15 788	8 466	1,8%	67,3%
15	4C2 Land converted to Grassland	CO2	14 484	7 457	1,6%	68,8%
16	4A2 Land converted to Forest Land	CO2	7 256	7 245	1,5%	70,4%
17	1A2g Manufacturing Industries / Other	CO2	10 598	7 073	1,5%	71,8%
18	1A4a Commercial/Institutional / oil	CO2	16 555	7 037	1,5%	73,3%
19	1A1a Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO2	2 557	6 837	1,4%	74,8%
20	4B1 Cropland remaining Cropland	CO2	141	6 832	1,4%	76,2%
21	1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO2	3 460	6 571	1,4%	77,6%
22	1A1a Public Electricity and Heat Production / coal	CO2	37 410	6 275	1,3%	78,9%
23	2A1 Cement Production	CO2	10 937	6 197	1,3%	80,2%
24	3Db Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	6 011	5 171	1,1%	81,3%
25	1A2c Chemicals / gas	CO2	6 695	5 138	1,1%	82,4%
26	2B10 Chemical Industry / Other	CO2	4 558	4 530	1,0%	83,4%
27	1A2f Non-metallic minerals / gas	CO2	3 840	4 355	0,9%	84,3%
28	1A1b Petroleum Refining / oil	CO2	11 413	3 825	0,8%	85,1%
29	3B Manure Management	CH4	3 461	3 796	0,8%	85,9%
30	1A1a Public Electricity and Heat Production / oil	CO2	8 209	3 622	0,8%	86,6%
31	1A3a Domestic Aviation	CO2	4 134	3 051	0,6%	87,3%
32	1A2a Iron and Steel / coal	CO2	4 271	2 757	0,6%	87,9%
33	1A2a Iron and Steel / gas	CO2	2 784	2 686	0,6%	88,4%
34	1A2f Non-metallic minerals / oil	CO2	6 080	2 654	0,6%	89,0%
35	1A2c Chemicals / oil	CO2	5 470	2 488	0,5%	89,5%
36	3B Manure Management	N2O	2 819	2 350	0,5%	90,0%
37	5D Wastewater treatment and discharge	CH4	1 491	2 330	0,5%	90,5%
38	1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal	CO2	4 054	2 101	0,4%	91,0%
39	1A2d Pulp, Paper and Print / gas	CO2	2 071	2 082	0,4%	91,4%
40	2A2 Lime Production	CO2	2 750	1 997	0,4%	91,8%
41	1B2a Fugitive Emissions from Fuels / Oil	CO2	2 983	1 765	0,4%	92,2%
42	5C Incineration and open burning of waste	CO2	2 194	1 603	0,3%	92,5%
43	1A5a Other stationary	CO2	4 464	1 476	0,3%	92,8%
44	2B1 Ammonia Production	CO2	2 019	1 325	0,3%	93,1%
45	4B2 Land converted to Cropland	N2O	1 506	1 308	0,3%	93,4%
46	1A1b Petroleum Refining / gas	CO2	36	1 291	0,3%	93,7%
47	1A3d Domestic navigation	CO2	1 021	1 274	0,3%	93,9%
48	5B Biological treatment of solid waste	CH4	245	1 125	0,2%	94,2%
49	1A3b Road Transportation	N2O	921	1 108	0,2%	94,4%
50	4C1 Grassland remaining Grassland	CO2	462	1 087	0,2%	94,6%
51	1A2f Non-metallic minerals / other fossil fuels	CO2	333	1 039	0,2%	94,9%
52	1A2c Chemicals / other fossil fuels	CO2	470	1 038	0,2%	95,1%
...

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

Tableau 249 : Évaluation des catégories clés 1990 - analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF - Tier 1

ÉVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES NIVEAUX D'ÉMISSIONS AVEC UTCATF (*) - Périmètre Kyoto					
source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022		s_cle_avec_UTCATF_1990.xlsx/s_cle_niv			
r	Gaz à effet	CO ₂	contribution		
a Classement Source / Combustible	de serre	équivalent	(%)	cumul (%)	
n	direct	(kt)			
g CRF		1990	1990	1990	
1 1A3b Road Transportation	CO ₂	113 896	17,8%	17,8%	
2 3A Enteric Fermentation	CH ₄	38 631	6,1%	23,9%	
3 1A1a Public Electricity and Heat Production / coal	CO ₂	37 410	5,9%	29,7%	
4 4A1 Forest Land remaining Forest Land	CO ₂	32 357	5,1%	34,8%	
5 1A4b Residential / oil	CO ₂	30 915	4,8%	39,7%	
6 3Da Direct N ₂ O emissions from managed soils	N ₂ O	27 839	4,4%	44,0%	
7 1A4b Residential / gas	CO ₂	21 134	3,3%	47,3%	
8 4B2 Land converted to Cropland	CO ₂	20 999	3,3%	50,6%	
9 1A4a Commercial/Institutional / oil	CO ₂	16 555	2,6%	53,2%	
10 2C1 Iron and Steel Production	CO ₂	15 788	2,5%	55,7%	
11 4C2 Land converted to Grassland	CO ₂	14 484	2,3%	57,9%	
12 2B3 Adipic Acid Production	N ₂ O	14 232	2,2%	60,2%	
13 5A Solid Waste Disposal	CH ₄	12 563	2,0%	62,1%	
14 1A1b Petroleum Refining / oil	CO ₂	11 413	1,8%	63,9%	
15 2A1 Cement Production	CO ₂	10 937	1,7%	65,6%	
16 1A4c Agriculture/Forestry/Fishing / oil	CO ₂	10 895	1,7%	67,4%	
17 1A2g Manufacturing Industries / Other	CO ₂	10 598	1,7%	69,0%	
18 4E Settlements	CO ₂	9 092	1,4%	70,4%	
19 1A1a Public Electricity and Heat Production / oil	CO ₂	8 209	1,3%	71,7%	
20 1A4a Commercial/Institutional / gas	CO ₂	8 127	1,3%	73,0%	
21 4A2 Land converted to Forest Land	CO ₂	7 256	1,1%	74,1%	
22 1A2c Chemicals / gas	CO ₂	6 695	1,0%	75,2%	
23 2B2 Nitric Acid Production	N ₂ O	6 368	1,0%	76,2%	
24 1A2f Non-metallic minerals / oil	CO ₂	6 080	1,0%	77,1%	
25 3Db Indirect N ₂ O Emissions from managed soils	N ₂ O	6 011	0,9%	78,1%	
26 1A2c Chemicals / oil	CO ₂	5 470	0,9%	78,9%	
27 4G Harvested wood products	CO ₂	5 100	0,8%	79,7%	
28 1A2f Non-metallic minerals / coal	CO ₂	4 970	0,8%	80,5%	
29 1B1a Coal Mining and handling	CH ₄	4 780	0,7%	81,3%	
30 2B10 Chemical Industry / Other	CO ₂	4 558	0,7%	82,0%	
31 1A5a Other stationary	CO ₂	4 464	0,7%	82,7%	
32 2B9 Fluorochemical production	HFC	4 374	0,7%	83,4%	
33 1A2a Iron and Steel / coal	CO ₂	4 271	0,7%	84,0%	
34 1A4b Residential / biomass	CH ₄	4 239	0,7%	84,7%	
35 1A3a Domestic Aviation	CO ₂	4 134	0,6%	85,3%	
36 1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / co.	CO ₂	4 054	0,6%	86,0%	
37 1A2f Non-metallic minerals / gas	CO ₂	3 840	0,6%	86,6%	
38 2C3 Aluminium Production	PFC	3 567	0,6%	87,1%	
39 3B Manure Management	CH ₄	3 461	0,5%	87,7%	
40 1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO ₂	3 460	0,5%	88,2%	
41 1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / oil	CO ₂	2 995	0,5%	88,7%	
42 1B2a Fugitive Emissions from Fuels / Oil	CO ₂	2 983	0,5%	89,1%	
43 3B Manure Management	N ₂ O	2 819	0,4%	89,6%	
44 1A2a Iron and Steel / gas	CO ₂	2 784	0,4%	90,0%	
45 2A2 Lime Production	CO ₂	2 750	0,4%	90,5%	
46 2B4 Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production	N ₂ O	2 573	0,4%	90,9%	
47 1A1a Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO ₂	2 557	0,4%	91,3%	
48 5C Incineration and open burning of waste	CO ₂	2 194	0,3%	91,6%	
49 1A2c Chemicals / coal	CO ₂	2 149	0,3%	91,9%	
50 1A2e Food Processing, Beverages and Tobacco / coal	CO ₂	2 083	0,3%	92,3%	
51 1A2d Pulp, Paper and Print / gas	CO ₂	2 071	0,3%	92,6%	
52 2B1 Ammonia Production	CO ₂	2 019	0,3%	92,9%	
53 1A4b Residential / coal	CO ₂	1 969	0,3%	93,2%	
54 1A4a Commercial/Institutional / coal	CO ₂	1 938	0,3%	93,5%	
55 1B2b Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CH ₄	1 520	0,2%	93,8%	
56 4B2 Land converted to Cropland	N ₂ O	1 506	0,2%	94,0%	
57 5D Wastewater treatment and discharge	CH ₄	1 491	0,2%	94,2%	
58 1A2a Iron and Steel / oil	CO ₂	1 455	0,2%	94,5%	
59 2D3 Non-energy products from fuels and solvent use / Other	CO ₂	1 434	0,2%	94,7%	
60 1A2d Pulp, Paper and Print / oil	CO ₂	1 352	0,2%	94,9%	
61 2C2 Ferroalloys Production	CO ₂	1 262	0,2%	95,1%	
...	

Tableau 250 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2020 - analyse des évolutions des émissions avec UTCATF - Tier1

EVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES EVOLUTIONS D'EMISSIONS AVEC UTCATF (*) - Périmètre Kyoto								
source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022				s_cle_avec.UTCATF.xlsx/s_cle_evolution				
rang	Classement Source / Combustible	Gaz à effet de serre direct	CO ₂	CO ₂	Evaluation de l'évolution (**)	Contribution à l'évolution (%)	cumul (%)	
			équivalent (kt)	équivalent (kt)				
	CRF		1990	2020			2020	
1	1A1a	Public Electricity and Heat Production / coal	CO2	37 410	6 275	0,033	8,3%	8,3%
2	1A3b	Road Transportation	CO2	113 896	103 240	0,032	8,0%	16,3%
3	4A1	Forest Land remaining Forest Land	CO2	32 357	24 144	0,027	6,7%	23,0%
4	1A1a	Public Electricity and Heat Production / gas	CO2	973	12 871	0,019	4,8%	27,8%
5	4C2	Land converted to Grassland	CO2	14 484	7 457	0,017	4,3%	32,1%
6	2F1	Refrigeration and Air Conditioning	HFC	0	10 785	0,017	4,3%	36,4%
7	2B3	Adipic Acid Production	N2O	14 232	10	0,016	4,1%	40,5%
8	1A4b	Residential / gas	CO2	21 134	25 232	0,015	3,9%	44,4%
9	1A4b	Residential / oil	CO2	30 915	13 376	0,014	3,6%	48,0%
10	4B1	Cropland remaining Cropland	CO2	141	6 832	0,011	2,7%	50,7%
11	1A4a	Commercial/Institutional / gas	CO2	8 127	12 655	0,011	2,7%	53,4%
12	4G	Harvested wood products	CO2	5 100	814	0,009	2,2%	55,6%
13	1A4a	Commercial/Institutional / oil	CO2	16 555	7 037	0,008	2,0%	57,6%
14	3A	Enteric Fermentation	CH4	38 631	33 137	0,008	2,0%	59,6%
15	1A1a	Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO2	2 557	6 837	0,008	2,0%	61,6%
16	1A1b	Petroleum Refining / oil	CO2	11 413	3 825	0,007	1,8%	63,3%
17	2B2	Nitric Acid Production	N2O	6 368	433	0,007	1,7%	65,0%
18	4E	Settlements	CO2	9 092	10 744	0,006	1,6%	66,6%
19	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO2	3 460	6 571	0,006	1,6%	68,2%
20	3Da	Direct N2O emissions from managed soils	N2O	27 839	23 998	0,006	1,5%	69,7%
21	1B1a	Coal Mining and handling	CH4	4 780	10	0,005	1,4%	71,1%
22	2B9	Fluorochemical production	HFC	4 374	94	0,005	1,2%	72,3%
23	4B2	Land converted to Cropland	CO2	20 999	18 340	0,005	1,2%	73,5%
24	2C1	Iron and Steel Production	CO2	15 788	8 466	0,005	1,2%	74,7%
25	1A2f	Non-metallic minerals / coal	CO2	4 970	704	0,005	1,2%	75,9%
26	5A	Solid Waste Disposal	CH4	12 563	11 965	0,004	1,1%	77,0%
27	2C3	Aluminium Production	PFC	3 567	61	0,004	1,0%	78,0%
28	1A1a	Public Electricity and Heat Production / oil	CO2	8 209	3 622	0,004	0,9%	78,9%
29	1A4b	Residential / biomass	CH4	4 239	810	0,004	0,9%	79,8%
30	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco / oil	CO2	2 995	174	0,003	0,8%	80,6%
31	4A2	Land converted to Forest Land	CO2	7 256	7 245	0,003	0,8%	81,4%
32	1A4c	Agriculture/Forestry/Fishing / oil	CO2	10 895	9 900	0,003	0,8%	82,2%
33	1A5a	Other stationary	CO2	4 464	1 476	0,003	0,7%	82,9%
34	1A2f	Non-metallic minerals / oil	CO2	6 080	2 654	0,003	0,7%	83,6%
35	2A1	Cement Production	CO2	10 937	6 197	0,003	0,7%	84,3%
36	2B4	Caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid production	N2O	2 573	104	0,003	0,7%	85,0%
37	1A2f	Non-metallic minerals / gas	CO2	3 840	4 355	0,002	0,6%	85,6%
38	1A2c	Chemicals / oil	CO2	5 470	2 488	0,002	0,6%	86,2%
39	4C1	Grassland remaining Grassland	CO2	462	1 087	0,002	0,6%	86,7%
40	1A4b	Residential / coal	CO2	1 969	82	0,002	0,5%	87,3%
41	1A4a	Commercial/Institutional / coal	CO2	1 938	127	0,002	0,5%	87,8%
42	3B	Manure Management	CH4	3 461	3 796	0,002	0,5%	88,3%
43	1A1b	Petroleum Refining / gas	CO2	36	1 291	0,002	0,5%	88,8%
44	5D	Wastewater treatment and discharge	CH4	1 491	2 330	0,002	0,5%	89,3%
45	2B10	Chemical Industry / Other	CO2	4 558	4 530	0,002	0,5%	89,7%
46	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco / coal	CO2	2 083	489	0,002	0,4%	90,1%
47	5B	Biological treatment of solid waste	CH4	245	1 125	0,001	0,4%	90,5%
48	1A2a	Iron and Steel / oil	CO2	1 455	166	0,001	0,4%	90,9%
49	1A2d	Pulp, Paper and Print / oil	CO2	1 352	94	0,001	0,4%	91,2%
50	2B9	Fluorochemical production	PFC	1 191	0	0,001	0,3%	91,6%
51	1A1c	Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal	CO2	4 054	2 101	0,001	0,3%	91,9%
52	1A2f	Non-metallic minerals / other fossil fuels	CO2	333	1 039	0,001	0,3%	92,2%
53	3Db	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	6 011	5 171	0,001	0,3%	92,5%
54	1A2d	Pulp, Paper and Print / coal	CO2	1 034	28	0,001	0,3%	92,8%
55	1A2c	Chemicals / other fossil fuels	CO2	470	1 038	0,001	0,3%	93,1%
56	1A2b	Non-Ferrous Metals / coal	CO2	954	2	0,001	0,3%	93,4%
57	1A2a	Iron and Steel / gas	CO2	2 784	2 686	0,001	0,3%	93,6%
58	1A2g	Manufacturing Industries / Other	CO2	10 598	7 073	0,001	0,3%	93,9%
59	1A2c	Chemicals / coal	CO2	2 149	936	0,001	0,2%	94,1%
60	1A3b	Road Transportation	CH4	956	120	0,001	0,2%	94,4%
61	1A2d	Pulp, Paper and Print / gas	CO2	2 071	2 082	0,001	0,2%	94,6%
62	1B2b	Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CO2	818	33	0,001	0,2%	94,8%
63	2F4	Aerosols	HFC	0	563	0,001	0,2%	95,0%
...
Total (*)				638 494	474 116			

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

(**) Analyse de l'évolution selon les bonnes pratiques du GIEC (cf. "IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories", équation 4.2, p. 4.15, vol. 1, chap.4)

Tableau 251 : Évaluation des catégories clés 2020 - analyse des niveaux d'émissions avec UTCATF-KP - Tier1

EVALUATION DES SOURCES CLES- Tier 1 - ANALYSE DES NIVEAUX D'EMISSIONS AVEC UTCATF (*)						
Périmètre Kyoto						
source CITEPA / format CCNUCC - mars 2022				s_cle_avec_UTCATF-KP.xlsx/s_cle_niv		
rang	Classement Source / Combustible		Gaz à effet de serre direct	CO ₂ équivalent (kt)	contribution (%)	cumul (%)
	CRF	Libellé		2020	2020	2020
1	1A3b	Road Transportation	CO2	103 240	23,5%	23,5%
2	3A	Enteric Fermentation	CH4	33 137	7,5%	31,0%
3	1A4b	Residential / gas	CO2	25 232	5,7%	36,8%
4	3Da	Direct N2O emissions from managed soils	N2O	23 998	5,5%	42,2%
5	4B1	Forest management (KP. art. 3.4)	CO2	19 867	4,5%	46,8%
6	4A1	Afforestation and reforestation (KP. art. 3.3)	CO2	14 262	3,2%	50,0%
7	1A4b	Residential / oil	CO2	13 376	3,0%	53,0%
8	1A1a	Public Electricity and Heat Production / gas	CO2	12 871	2,9%	56,0%
9	1A4a	Commercial/Institutional / gas	CO2	12 655	2,9%	58,9%
10	5A	Solid Waste Disposal	CH4	11 965	2,7%	61,6%
11	4A2	Deforestation (KP. art. 3.3)	CO2	11 758	2,7%	64,3%
12	2F1	Refrigeration and Air Conditioning	HFC	10 785	2,5%	66,7%
13	1A4c	Agriculture/Forestry/Fishing / oil	CO2	9 900	2,3%	69,0%
14	2C1	Iron and Steel Production	CO2	8 466	1,9%	70,9%
15	1A2g	Manufacturing Industries / Other	CO2	7 073	1,6%	72,5%
16	1A4a	Commercial/Institutional / oil	CO2	7 037	1,6%	74,1%
17	1A1a	Public Electricity and Heat Production / other fossil fuels	CO2	6 837	1,6%	75,7%
18	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco / gas	CO2	6 571	1,5%	77,1%
19	1A1a	Public Electricity and Heat Production / coal	CO2	6 275	1,4%	78,6%
20	2A1	Cement Production	CO2	6 197	1,4%	80,0%
21	3Db	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	5 171	1,2%	81,2%
22	1A2c	Chemicals / gas	CO2	5 138	1,2%	82,3%
23	2B10	Chemical Industry / Other	CO2	4 530	1,0%	83,4%
24	1A2f	Non-metallic minerals / gas	CO2	4 355	1,0%	84,4%
25	1A1b	Petroleum Refining / oil	CO2	3 825	0,9%	85,2%
26	3B	Manure Management	CH4	3 796	0,9%	86,1%
27	1A1a	Public Electricity and Heat Production / oil	CO2	3 622	0,8%	86,9%
28	1A3a	Domestic Aviation	CO2	3 051	0,7%	87,6%
29	1A2a	Iron and Steel / coal	CO2	2 757	0,6%	88,2%
30	1A2a	Iron and Steel / gas	CO2	2 686	0,6%	88,8%
31	1A2f	Non-metallic minerals / oil	CO2	2 654	0,6%	89,4%
32	1A2c	Chemicals / oil	CO2	2 488	0,6%	90,0%
33	3B	Manure Management	N2O	2 350	0,5%	90,5%
34	5D	Wastewater treatment and discharge	CH4	2 330	0,5%	91,1%
35	1A1c	Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries / coal	CO2	2 101	0,5%	91,6%
36	1A2d	Pulp, Paper and Print / gas	CO2	2 082	0,5%	92,0%
37	2A2	Lime Production	CO2	1 997	0,5%	92,5%
38	1B2a	Fugitive Emissions from Fuels / Oil	CO2	1 765	0,4%	92,9%
39	5C	Incineration and open burning of waste	CO2	1 603	0,4%	93,3%
40	1A5a	Other stationary	CO2	1 476	0,3%	93,6%
41	2B1	Ammonia Production	CO2	1 325	0,3%	93,9%
42	1A1b	Petroleum Refining / gas	CO2	1 291	0,3%	94,2%
43	1A3d	Domestic navigation	CO2	1 274	0,3%	94,5%
44	5B	Biological treatment of solid waste	CH4	1 125	0,3%	94,7%
45	1A3b	Road Transportation	N2O	1 108	0,3%	95,0%
...

TIER 2 - ANALYSE AVEC UTCATF

Tableau 252 : Évaluation des catégories clés 2020 - 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 2022					CITEPA-s_cles_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 2020 kt CO2e	|Emissions| 2020 kt CO2e	Incertitude sur les émissions (%)	Evaluation du niveau (%)	Total cumulatif de la colonne G	Catégorie clé Tier2 (à 90%)	Catégorie clé Tier1 (à 95%)
3Da	Direct N2O emissions from managed soils	N2O	23 998	23 998		146	23,74	23,7	1
5A	Solid Waste Disposal	CH4	11 965	11 965		176	14,26	38,0	2
3Db	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	5 171	5 171		363	12,76	50,8	3
4B2	Land converted to Cropland	CO2	18 340	18 340		41	5,10	55,9	4
4B1	Cropland remaining Cropland	CO2	-6 832	6 832		100	4,64	60,5	5
3A	Enteric Fermentation	CH4	33 137	33 137		16	3,56	64,1	6
4A1	Forest Land remaining Forest Land	CO2	-24 144	24 144		18	2,95	67,0	7
4C2	Land converted to Grassland	CO2	-7 457	7 457		51	2,58	69,6	8
4A2	Land converted to Forest Land	CO2	-7 245	7 245		51	2,51	72,1	9
3B	Manure Management	N2O	2 350	2 350		150	2,39	74,5	10
4E	Settlements	CO2	10 744	10 744		32	2,33	76,8	11
1A3b	Road transportation	CO2	103 240	103 240		3	2,22	79,0	12
2F1	Refrigeration and Air Conditioning	HFC	10 785	10 785		28	2,07	81,1	13
5D	Wastewater treatment and discharge	CH4	2 330	2 330		106	1,68	82,8	14
1A4b	Residential / gas	CO2	25 232	25 232		5	0,92	83,7	15
4B2	Land converted to Cropland	N2O	1 308	1 308		100	0,89	84,6	16
2C1	Iron and Steel Production	CO2	8 466	8 466		14	0,81	85,4	17
3B	Manure Management	CH4	3 796	3 796		30	0,78	86,2	18
5B	Biological treatment of solid waste	CH4	1 125	1 125		101	0,77	87,0	19
4C1	Grassland remaining Grassland	CO2	-1 087	1 087		100	0,74	87,7	20
1A4c	Agriculture/forestry/fishing / oil	N2O	911	911		100	0,62	88,3	21
4G	Harvested Wood Products	CO2	-814	814		100	0,56	88,9	22
1A4b	Residential / biomass	CH4	810	810		100	0,55	89,4	23
1B2b	Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CH4	763	763		100	0,52	89,9	24
1A4b	Residential / oil	CO2	13 376	13 376		5	0,49	90,4	25
***	***	***	***	***					
Total (*)			378 957	474 116					
(*) Analyse avec UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) en valeur absolue ie. Positive. Ce qui donne un total artificiel qui n'a pour objet que cette analyse des catégories clés.									

Tableau 253 : 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 2022					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%)
3Da	Direct N2O emissions from managed soils	N2O	27 839	27 839		146	23,73	23,7	6
5A	Solid Waste Disposal	CH4	12 563	12 563		176	12,90	36,6	13
3Db	Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	6 011	6 011		363	12,78	49,4	25
4B2	Land converted to Cropland	CO2	20 999	20 999		41	5,03	54,4	8
4C2	Land converted to Grassland	CO2	-14 484	14 484		51	4,32	58,8	11
3A	Enteric Fermentation	CH4	38 631	38 631		16	3,57	62,3	2
4A1	Forest Land remaining Forest Land	CO2	-32 357	32 357		18	3,41	65,7	4
4G	Harvested Wood Products	CO2	-5 100	5 100		100	3,00	68,7	27
1A4b	Residential / biomass	CH4	4 239	4 239		100	2,48	71,2	34
3B	Manure Management	N2O	2 819	2 819		150	2,47	73,7	43
4A2	Land converted to Forest Land	CO2	-7 256	7 256		51	2,16	75,9	21
1A3b	Road transportation	CO2	113 896	113 896		3	2,11	78,0	1
4E	Settlements	CO2	9 092	9 092		32	1,70	79,7	18
2C1	Iron and Steel Production	CO2	15 788	15 788		14	1,31	81,0	10
1A4b	Residential / oil	CO2	30 915	30 915		5	0,97	81,9	5
5D	Wastewater treatment and discharge	CH4	1 491	1 491		106	0,92	82,9	57
1B2b	Fugitive Emissions from Fuels / Natural Gas	CH4	1 520	1 520		100	0,89	83,8	55
4B2	Land converted to Cropland	N2O	1 506	1 506		100	0,88	84,6	56
1A4b	Residential / gas	CO2	21 134	21 134		5	0,67	85,3	7
2B3	Adipic Acid Production	N2O	14 232	14 232		8	0,62	85,9	12
3B	Manure Management	CH4	3 461	3 461		30	0,62	86,5	39
2A1	Cement production	CO2	10 937	10 937		9	0,58	87,1	15
1A4c	Agriculture/forestry/fishing / oil	N2O	916	916		100	0,54	87,7	23
1A4a	Commercial/institutional / oil	CO2	16 555	16 555		5	0,52	88,2	9
1A1a	Public electricity and heat production / coal	CO2	37 410	37 410		2	0,49	88,7	3
1A2g	Manufacturing Industries / Other	CO2	10 598	10 598		7	0,42	89,1	17
2D3	Non-energy products from fuels and solvent use / Other	CO2	1 434	1 434		43	0,36	89,4	59
5D	Wastewater treatment and discharge	N2O	571	571		106	0,35	89,8	28
4A1	Forest Land remaining Forest Land	CH4	602	602		100	0,35	90,1	29
***	***	***	***	***					
Total (*)			520 100	638 494					
(*) Analyse avec UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) en valeur absolue ie. Positive. Ce qui donne un total artificiel qui n'a pour objet que cette analyse des catégories clés.									

Tableau 254 : Évaluation des catégories clés entre 1990 et 2020 - 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 2022						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 2020 kt CO2e	Incertitude sur les émissions (%)	Evaluation de la tendance avec incertitude (%)	% de contribution à la tendance	Total cumulé colonnes H et I (%)	Catégorie clé Tier2 (à 90%)	Catégorie clé Tier1 (à 95%)
4B1	Cropland remaining Cropland	CO2	141,18	-6 832,46	100	1,09	11,22	11,2	1	10
4G	Harvested Wood Products	CO2	-5 100,21	-814,43	100	0,89	9,22	20,4	2	12
4C2	Land converted to Grassland	CO2	-14 484,00	-7 456,56	51	0,88	9,04	29,5	3	5
3Da	Direct N2O emissions from manure	N2O	27 838,99	23 998,19	146	0,85	8,76	38,2	4	20
5A	Solid Waste Disposal	CH4	12 562,65	11 964,89	176	0,77	7,99	46,2	5	26
4A1	Forest Land remaining Forest Land	CO2	-32 356,76	-24 144,25	18	0,48	4,95	51,2	6	3
2F1	Refrigeration and Air Conditioning	HFC	-	10 784,86	28	0,48	4,94	56,1	7	6
3Db	Indirect N2O Emissions from manure	N2O	6 011,18	5 171,16	363	0,45	4,65	60,8	8	53
1A4b	Residential / biomass	CH4	4 238,63	809,72	100	0,36	3,69	64,5	9	29
4C1	Grassland remaining Grassland	CO2	461,60	-1 086,79	100	0,22	2,30	66,8	10	39
4E	Settlements	CO2	9 091,58	10 743,98	32	0,21	2,13	68,9	11	18
5D	Wastewater treatment and discharge	CH4	1 490,72	2 330,11	106	0,21	2,13	71,0	12	44
4B2	Land converted to Cropland	CO2	20 999,48	18 339,56	41	0,20	2,02	73,0	13	23
4A2	Land converted to Forest Land	CO2	-7 256,04	-7 245,03	51	0,16	1,63	74,7	14	31
5B	Biological treatment of solid waste	CH4	245,23	1 125,28	101	0,15	1,55	76,2	15	47
3A	Enteric Fermentation	CH4	38 630,54	33 136,51	16	0,12	1,28	77,5	16	14
2B3	Adipic Acid Production	N2O	14 232,48	10,27	8	0,12	1,26	78,8	17	7
1A3b	Road transportation	CO2	113 895,91	103 240,04	3	0,10	1,04	79,8	18	2
1A4b	Residential / gas	CO2	21 133,97	25 231,52	5	0,08	0,86	80,6	19	8
1A4b	Residential / oil	CO2	30 914,92	13 375,63	5	0,08	0,80	81,4	20	9
1A1a	Public electricity and heat production	CO2	37 410,19	6 274,67	2	0,07	0,76	82,2	21	1
3B	Manure Management	N2O	2 819,26	2 350,47	150	0,07	0,72	82,9	22	
2C1	Iron and Steel Production	CO2	15 787,64	8 465,75	14	0,07	0,69	83,6	23	24
1B1a	Coal mining and handling	CH4	4 780,45	10,05	11	0,06	0,63	84,2	24	21
3B	Manure Management	CH4	3 460,51	3 795,76	30	0,06	0,63	84,9	25	42
1A4a	Commercial/institutional / gas	CO2	8 127,20	12 655,26	5	0,06	0,59	85,5	26	11
1B2b	Fugitive Emissions from Fuels / transport	CH4	1 520,28	762,88	100	0,05	0,56	86,0	27	
2B2	Nitric Acid Production	N2O	6 368,26	432,61	8	0,05	0,51	86,5	28	17
2B9	Fluorochemical production	HFC	4 373,66	94,45	10	0,05	0,51	87,0	29	22
2C3	Aluminium Production	PFC	3 567,14	61,33	12	0,05	0,50	87,5	30	27
1A1a	Public electricity and heat production	CO2	2 557,16	6 836,63	6	0,05	0,49	88,0	31	15
1A3b	Road transportation	CH4	956,34	120,35	50	0,05	0,47	88,5	32	60
1A1a	Public electricity and heat production	CO2	972,57	12 870,97	2	0,04	0,44	88,9	33	4
1A4a	Commercial/institutional / oil	CO2	16 554,81	7 036,66	5	0,04	0,44	89,4	34	13
1A4c	Agriculture/forestry/fishing / oil	N2O	916,36	911,36	100	0,04	0,39	89,8	35	
1A3b	Road transportation	N2O	921,12	1 107,84	50	0,03	0,35	90,1	36	
***	***	***	***	***						
Total (*)			520 100	638 494						
(*) Analyse avec UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) en valeur absolue ie. Positive. Ce qui donne un total artificiel qui n'a pour objet que cette analyse des catégories clés.										

Annexe 2

Méthodes et données pour l'estimation des émissions de CO₂ provenant de la combustion de combustibles fossiles

Ces éléments sont présentés dans le corps du rapport à la section 3.2.

Annexe 3

Descriptions méthodologiques détaillées

Tous les descriptifs méthodologiques détaillés sont dans les chapitres sectoriels du NIR. 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.

CRF 3 : Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les bovins, porcins, ovins et caprins

Les données des enquêtes bâtiments d'élevage (1994, 2001, 2008) et pratiques d'élevage (2015) sont retraitées afin de déterminer la part des animaux gérés dans chacun des systèmes suivants :

- **Pour les bovins** : lisier avec croûte naturelle, lisier sans croûte naturelle, fumier (stockage solide), litière accumulée (pendant moins d'un mois pour les vaches laitières et pendant plus d'un mois pour les autres bovins), pâture.
- **Pour les autres animaux** : lisier sans croûte naturelle, fumier (stockage solide), pâture.

Définition de capacités

Les données des enquêtes sont fournies selon une catégorisation qui est globalement différente de celle proposée dans la SAA. Pour faciliter la lecture, on nomme la catégorisation des enquêtes « capacité ». Plusieurs cas peuvent être rencontrés :

- La capacité concerne une seule catégorie animale de la SAA : la correspondance est faite directement entre capacité et catégorie SAA ;
- La capacité concerne plusieurs catégories animales de la SAA : les données de la capacité sont attribuées à chaque catégorie animale de la SAA ;
- La catégorie animale de la SAA est concernée par plusieurs capacités : les données des capacités concernées sont pondérées pour être représentatives de la catégorie animale de la SAA.

Le tableau ci-dessous répertorie les différentes correspondances effectuées entre les capacités des **enquêtes bâtiment** (1994, 2001, 2008) et les **catégories animales de la SAA**.

NB : Lorsqu'une capacité concerne plusieurs catégories animales, elle est répétée pour faciliter la lecture.

Tableau 255 : 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	0,32	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	0,68	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 256 : 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 : $89\% \times 114,5 + (1-89\%) \times (114,5 + 21) = 116,81$ jours,
- Maternité : 24,3 jours.

L'expression de ces résultats en pourcentage du temps passé donne alors les chiffres proposés dans le Tableau 255.

Les coefficients appliqués pour les agnelles ont été calculés à partir 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).

Dans les pratiques d'élevage (2015), la terminologie des capacités a été modifiée. Les correspondances suivantes ont été appliquées :

Tableau 257 : 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	<i>Pas de correspondance</i>
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	<i>Pas de correspondance</i>

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 258 : 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	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%
	avec aire d'exercice totalement couverte		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%	
Stabulation	libre	aire d'exercice caillebotis		0%	0%	100%	0%	0%	
		pente paillée	alimentation distribuée	0%	10%	15%	0%	75%	
			alimentation silo libre service	0%	15%	15%	0%	70%	
	avec aire d'exercice non couverte	litière accumulée	système fumier	alimentation distribuée	0%	10%	13%	7%	71%
				alimentation silo libre service	0%	15%	11%	7%	67%
	ou incomplètement couverte		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 259 : 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				% Pâturage	% 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	litière accumulée	pente paillée	0%	0%	0%	0%	100%
			aire d'exercice raclée	0%	0%	13%	14%	73%
			fumier	0%	50%	0%	14%	36%
			lisier	0%	0%	50%	14%	36%
			aire d'exercice caillebotis (lisier)	0%	0%	0%	29%	71%
			aire paillée intégrale	0%	0%	0%	0%	0%
			aire d'exercice bétonnée	0%	0%	25%	0%	75%
			fumier	0%	100%	0%	0%	0%
			lisier	0%	0%	100%	0%	0%
			aire d'exercice caillebotis	0%	10%	15%	0%	75%
Stabulation	libre	litière accumulée	pente paillée	0%	15%	15%	0%	70%
			alimentation distribuée	0%	10%	10%	14%	66%
			alimentation silo libre service	0%	15%	9%	14%	62%
			système fumier	0%	50%	0%	14%	36%
			alimentation distribuée	0%	50%	0%	14%	36%
			alimentation silo libre service	0%	10%	23%	0%	68%
			alimentation distribuée	0%	15%	21%	0%	64%
			alimentation silo libre service	0%	100%	0%	0%	0%
			système lisier	0%	100%	0%	0%	0%
			alimentation distribuée	0%	100%	0%	0%	0%
avec aire d'exercice totalement couverte	non	logettes	alimentation distribuée	0%	10%	15%	0%	75%
			alimentation silo libre service	0%	15%	15%	0%	70%
ou incomplètement couverte	non	logettes	système fumier	0%	10%	10%	14%	66%
			alimentation distribuée	0%	50%	0%	14%	36%
			alimentation silo libre service	0%	50%	0%	14%	36%
			système lisier	0%	100%	0%	0%	0%
			alimentation distribuée	0%	10%	23%	0%	68%
			alimentation silo libre service	0%	15%	21%	0%	64%
			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 260 : 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 saillie, gestantes ou en maternité	en de	Plein air	100% plein air	
		Semi plein-air	100% lisier	
	ou	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.

Tableau 261 : 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%)	sol	Litière paillée		% Litière				
		Litière sciure ou copeaux		% Litière				
		Pente paillée		% Litière			% Pente paillée	
		Caillebotis		% Caillebotis				
		Matelas ou tapis		% Matelas				
				Non pris en compte				
		Autre						
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 262 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 - Bovins

Types de sols des enquêtes bâtiment				Retraitements spécifiques des données sur les pratiques d'élevage 2015
<i>Plein-air intégral</i>				<i>Pas de données exploitables : report de la valeur 2008</i>
Stabulation entravée	(ou étable)	avec litière		% Entravée x % Litière
		sans litière		% Entravée x (% Caillebotis+ % Matelas)
		pente paillée		% Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Pente paillée
Stabulation avec aire totalemt couverte	libre d'exercice	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 fumier	% Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Logettes x % Litière
			bétonnée 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
		pente paillée	Alim distribuée	% Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Pente paillée
			Alim silo libre-service	
		litière accumulée	système fumier	% Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Litière accumulée x % Litière
			système lisier	% Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Litière accumulée x (% Caillebotis + % Matelas)
ou incomplètement couverte		logettes	système fumier	% Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Logettes x % Litière
			système lisier	% Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Logettes x (% Caillebotis + % Matelas)

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 porcs, 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 263 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 - Porcs

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 Sol béton ou légèrement paillé et raclé Sol paillé (litière accumulée)
		% Caillebotis intégral + % Caillebotis partiel % Litière accumulée avec paille
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
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis partiel ou total Sol béton ou légèrement paillé et raclé 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 Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé Sol paillé (litière accumulée)
		% Caillebotis intégral + % Caillebotis partiel % Litière accumulée avec paille
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 Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé Sol paillé (litière accumulée)
		Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 Pas de données exploitables : report de la valeur 2008 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.

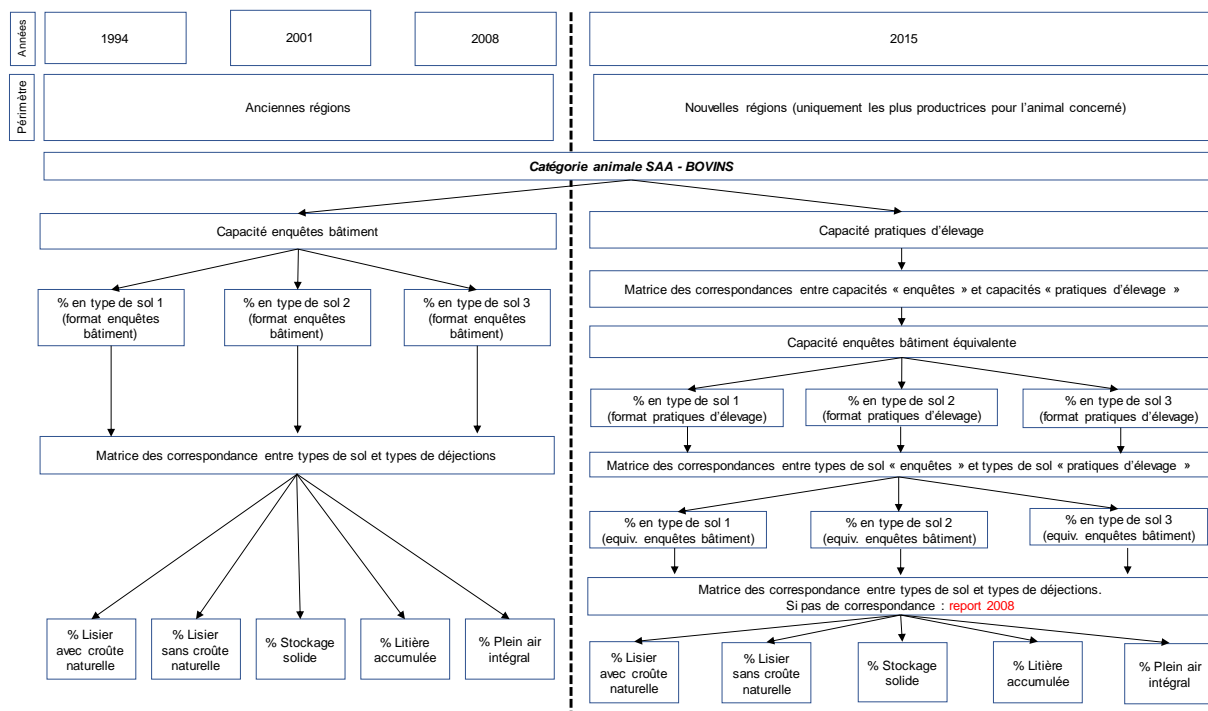


Figure 189 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les bovins

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

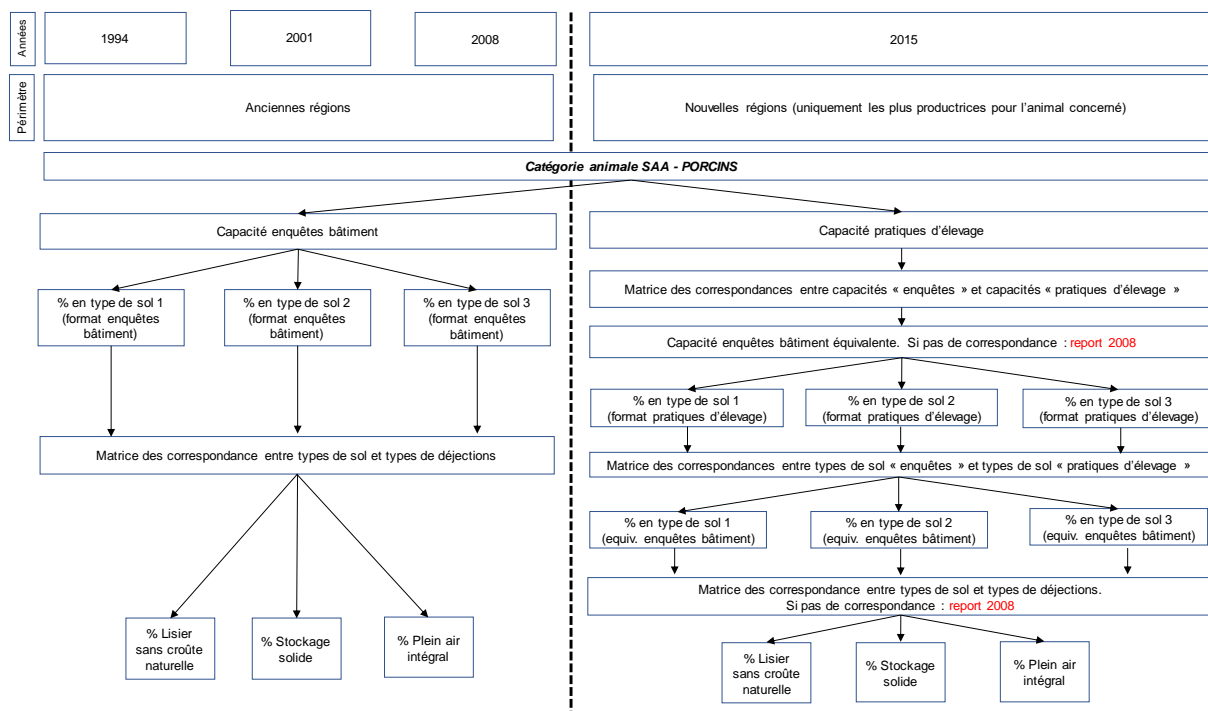


Figure 190 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les porcins

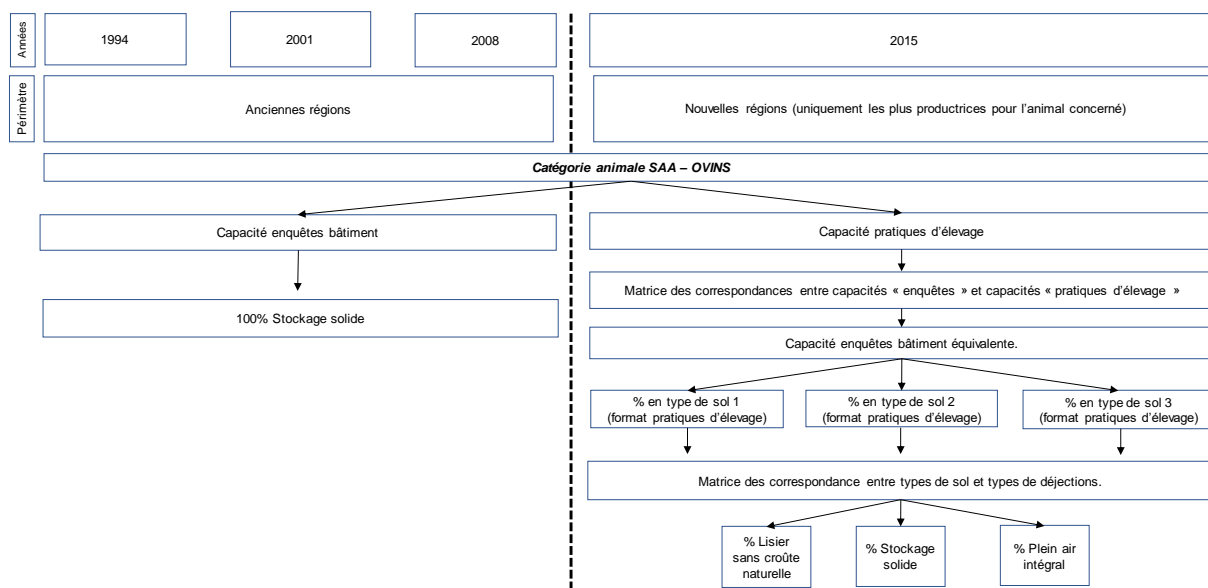


Figure 191 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les ovins

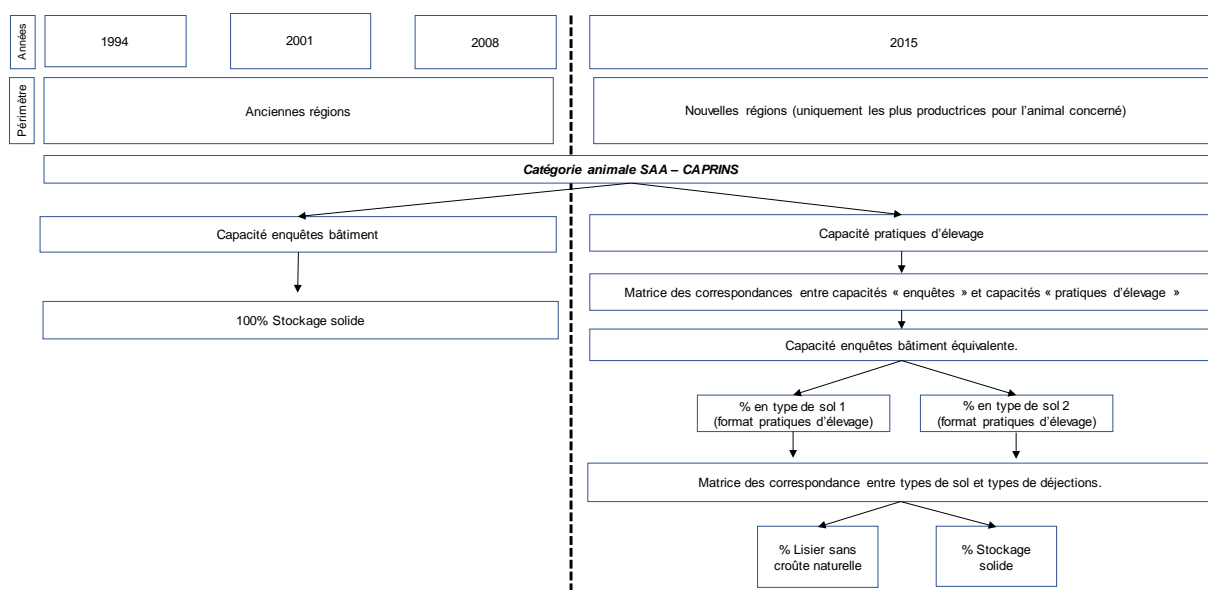


Figure 192 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les caprins

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.

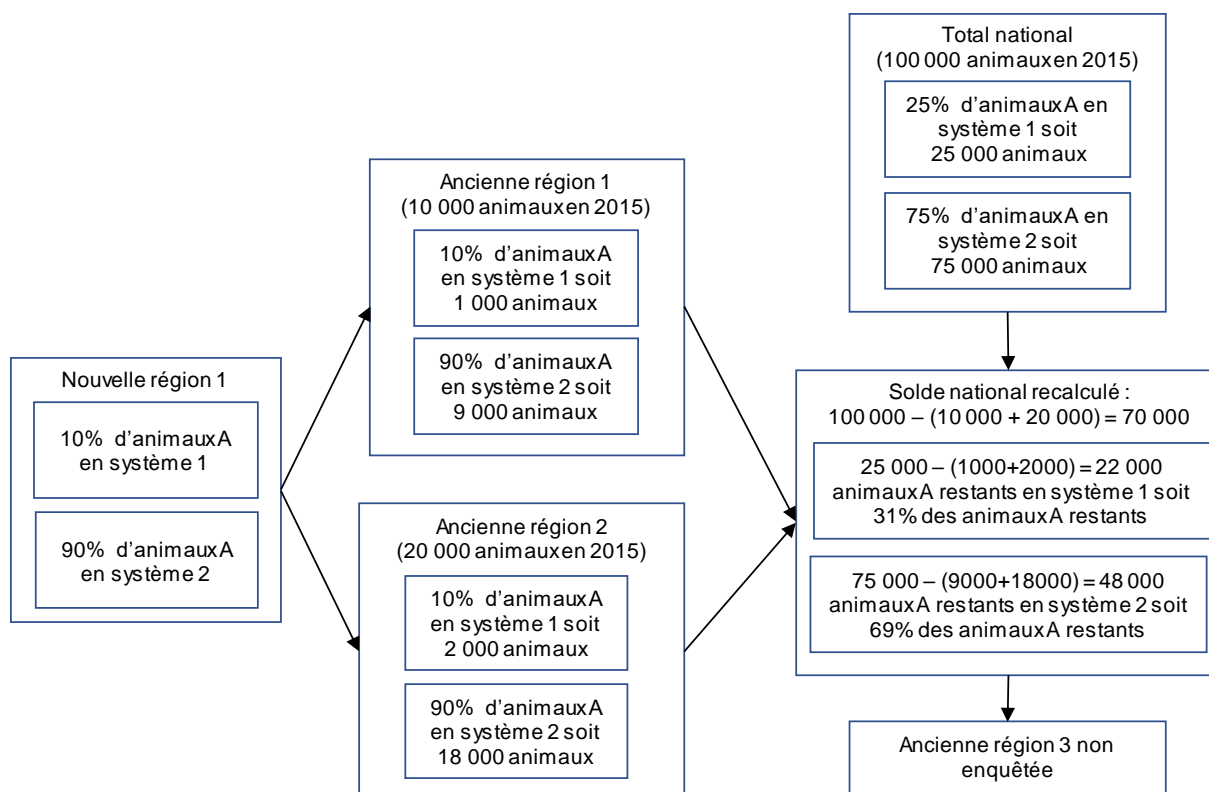


Figure 193 : Illustration fictive du retraitement des données effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage

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 264 : 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	Données 2008	Données 2008	
	% 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 265 : 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 (services statistiques du Ministère de l'Agriculture) 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 266 : 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

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

	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 porcs.

Tableau 267 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Porcins

Capacité bâtiment	enquête	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 264).

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 268 : 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. Les quantités de paille résultantes, exprimées par capacité des enquêtes bâtiment, sont les suivantes :

Tableau 269 : 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	0,25

Le tableau ci-dessous présente les quantités de paille à apporter par jour en kg, par catégorie animale, **pour les caprins**.

Tableau 270 : 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.

Les quantités de paille résultantes, exprimées par capacité des enquêtes bâtiment, sont les suivantes :

Tableau 271 : 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	0,62

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 264).

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les équins//

Temps de présence au bâtiment

Il a été considéré que les équins passent en moyenne 5 mois en bâtiment, sur la base d'un rapport sur les effluents animaux paru en 2002 [476]. Faute d'autres données disponibles, cette donnée est considérée constante dans le temps et utilisée pour toute la période.

Mode de gestion des déjections

Les systèmes lisiers n'existent pas en France, donc 100% des systèmes sont considérés en fumier.

Quantités de paille apportées

Pour les équins, les quantités de paille journalières retenues proviennent d'EMEP/EEA 2019 [1138].

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les volailles//

Temps de présence au bâtiment

Les temps d'hébergement sont déduits des facteurs d'excrétion azotée des documents Corpen (Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement), qui distinguent la part azotée au parcours de celle excrétée en bâtiment. Il existe trois versions du Corpen pour les volailles : 1996 [503], 2006 [471] et la mise à jour de 2012 [504]. Ces guides fournissent les parts d'excrétions au parcours pour respectivement 40, 78 et 80 catégories de volailles, alors que la SAA ne compte que 10 catégories. Ainsi, pour calculer les parts d'excrétions au parcours à partir du Corpen, il faut connaître les effectifs pour chaque catégorie Corpen, puis calculer un facteur d'émission pondéré pour les 10 catégories de la SAA. Pour cela, les effectifs nationaux fournis pour 46 catégories de volailles par les enquêtes bâtiments 2008 [480] ont été utilisés, en faisant l'hypothèse, faute de données supplémentaires, que les répartitions entre les 46 populations de volailles sont constantes entre 1996 et 2012. Les catégories de volailles et les périmètres d'étude ayant variés entre les versions, certaines données aberrantes ont été corrigées par une interpolation entre les deux valeurs de 1996 et 2012.

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 à l'année en cours : les données utilisées sont celles de 2012.

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 excréments azotés avec une part de lisier et une part de fumier déterminées, pour les années 1996, 2006 et 2012. Ces données sont interpolées de la même manière que les temps d'hébergement (cf. ci-dessus).

Actuellement, les systèmes « fientes » (très fréquents en poules pondeuses) sont assimilés aux systèmes basés sur le fumier, car pour l'instant, aucun facteur d'émission spécifique aux systèmes fiente n'est disponible dans les lignes directrices.

Quantités de paille apportées

Pour les volailles, les quantités de paille apportées ne sont pas comptabilisées.

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les lapines//

Temps de présence au bâtiment

Pour les lapines reproductrices, une seule enquête a été réalisée en 1994 [760] mais elle ne fournit pas de durées d'hébergement : les animaux gérés en bâtiment se voient attribuer 100% de leur temps au bâtiment.

Mode de gestion des déjections

Pour les lapines reproductrices, une seule enquête a été réalisée en 1994 [760]. La répartition entre fumier et lisier est maintenue constante, égale à 1994, pour toute la période.

Quantités de paille apportées

Ces quantités ne sont pas comptabilisées faute de données disponibles.

Systèmes de gestion des déjections animales - Traitement des données pour les cervidés d'élevage//

En Nouvelle-Calédonie, l'élevage des cervidés est considéré comme extensif. Faut de données plus précises, l'hypothèse est faite d'une gestion à 100% à la pâture.

Sols agricoles (CRF 3D)

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 N₂O 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 2006 [799] équation 11.7.A :

$$FCR = \sum_i (\text{Frac}_{\text{RENEW}(i)} \times ((\text{Area}_{(i)} - \text{Area}_{\text{BURNT}(i)} \times CF) \times \text{AG}_{\text{DM}(i)} \times 1000 \times \text{N}_{\text{AG}(i)} \times (1 - \text{Frac}_{\text{REMOVE}(i)}) + \text{Area}_{(i)} \times (\text{AG}_{\text{DM}(i)} \times 1000 + \text{CROP}_{(i)}) \times \text{R}_{\text{BG-BIO}(i)} \times \text{N}_{\text{BG}(i)}))$$

Avec :

$Frac_{RENEW(i)}$	: Fraction totale de la surface renouvelée annuellement
$AG_{DM(i)}$	: Résidus aériens (tMS/ha)
$CROP_{(i)}$	: Rendement de la culture i (kgMS/ha)
$Area_{(i)}$	: Surface de la culture i
$Area_{BURNT(i)}$	: Surface de la culture i brûlée
$Frac_{REMOVE(i)}$ (kgN/kgMS)	: Part de des résidus aériens ôtés annuellement du champ (élevage ou construction)
CF	: Facteur de combustion
$N_{AG(i)}$	: Part d'azote dans les résidus aériens (kgN/kgMS)
$R_{BG-BIO(i)}$	: Ratio résidus de cultures racinaires / biomasse aérienne
$N_{BG(i)}$	: Part d'azote dans les résidus racinaires (kgN/kgMS)

La méthode développée ci-dessus s'applique aux cultures desquelles 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, récapitulées dans le tableau à la fin de cette section [486], pour estimer les quantités d'azote et de matière sèche de résidus aériens (premier membre de l'équation).

$Frac_{RENEW(i)}$

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 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.

$AG_{DM(i)}$

Le paramètre « AG_{DM} » (tMS) 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).

AG_{DM}	= MS résidus aériens (tMS/ha)
	= (MS de biomasse aérienne (tMS/ha) - MS récoltée (tMS/ha))
	= MS de biomasse aérienne (tMS/ha) * (1 - MS récoltée (tMS/ha) / MS de biomasse aérienne (tMS/ha))
	= MS de biomasse aérienne (tMS/ha) * (1 - IR)
	= MS récoltée (tMS/ha) x (1 - IR) / IR
	= Productions / Area x (1 - IR) / IR

$AG_{DM(i)} \times 1000 + CROP_{(i)}$

De même, on estime « $AG_{DM} \times 1000 + CROP$ » à partir de l'indice de récolte IR, de la surface de cultures et des productions (avec $AG_{DM} \times 1000$ en kg de MS et CROP en kg de MS).

$AG_{DM} \times 1000 + CROP$	= MS résidus aériens (kgMS/ha) + MS récoltée (kgMS/ha)
	= (MS de biomasse aérienne (kgMS/ha) - MS récoltée (kgMS/ha)) + MS récoltée
(kgMS/ha)	
	= MS de biomasse aérienne (kgMS/ha) x (MS récoltée (kgMS/ha) / MS récoltée
(kgMS/ha))	
	= MS récoltée (kgMS/ha) / IR
	= Productions / Area x 1 / IR

Productions

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 272 : Évolutions des productions de céréales et oléagineux (kt) - Métropole

	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	3 325	2 017	287
1996	35 935	9 404	14 319	120	2 460	3 589	2 049	242
1997	33 862	10 004	16 535	127	2 484	4 024	2 044	277
1998	39 801	10 431	14 885	114	2 690	4 208	1 759	293
1999	36 951	9 376	15 355	110	2 447	5 453	1 931	300
2000	37 344	9 716	15 977	115	2 494	4 371	1 833	236
2001	31 532	9 793	16 355	102	2 349	3 665	1 586	332
2002	38 888	10 956	16 309	104	3 145	4 234	1 495	225
2003	30 303	9 833	12 155	105	2 459	4 318	1 513	158
2004	39 714	11 011	16 387	113	3 212	4 953	1 508	160
2005	36 957	10 289	13 908	100	3 024	6 193	1 617	167
2006	35 422	10 372	13 053	92	2 883	6 172	1 557	167
2007	33 372	9 435	14 496	86	2 529	7 207	1 615	121
2008	39 455	12 110	16 155	103	2 896	6 422	1 663	80
2009	38 886	12 831	15 678	126	3 277	7 657	1 835	138
2010	38 662	10 046	14 134	110	3 174	6 334	1 703	188
2011	36 611	8 775	15 914	128	3 013	6 900	1 948	169
2012	38 498	11 341	15 393	123	3 452	7 115	1 637	145
2013	39 261	10 315	15 041	80	3 254	5 826	1 641	148
2014	39 557	11 729	18 343	83	3 325	6 792	1 646	270
2015	43 442	13 098	13 716	80	3 071	6 581	1 233	395
2016	29 316	10 439	11 839	80	2 515	4 743	1 172	394
2017	38 678	12 087	14 534	90	3 133	5 317	1 599	490
2018	35 841	11 173	12 725	72	2 752	4 981	1 239	459
2019	41 083	13 725	12 996	84	3 319	3 523	1 298	487
2020	30 499	10 394	13 576	77	2 971	3 297	1 607	481

Tableau 273 : Évolutions des productions de protéagineux, tubercules, fourrages et herbe (kt) - Métropole

	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	31 067	6 280	17 835	2 827	18 849	39 147	2 756
2007	585	257	35 289	7 100	18 978	3 259	25 992	48 032	3 259
2008	441	320	32 863	6 713	19 231	2 935	25 283	44 834	3 078

2009	536	446	38 909	7 027	19 743	2 610	21 574	37 769	2 662
2010	1 069	499	34 478	6 620	17 929	2 319	19 584	35 181	2 697
2011	663	352	41 018	7 437	20 343	1 987	17 976	31 274	2 672
2012	553	280	36 312	6 373	19 231	2 139	24 828	39 862	3 059
2013	488	253	37 907	6 955	19 621	2 113	23 568	38 908	3 593
2014	528	294	43 163	8 083	21 541	2 286	27 074	42 698	3 976
2015	662	270	37 791	7 118	18 647	2 435	21 018	32 089	3 250
2016	548	215	34 574	6 953	17 650	2 693	19 485	33 968	2 984
2017	769	212	46 300	8 545	20 869	3 025	20 695	35 968	3 295
2018	590	149	39 914	7 859	18 753	3 325	17 074	31 534	3 120
2019	709	184	38 024	8 558	18 083	3 300	16 305	29 772	2 849
2020	629	161	26 195	8 690	18 487	3 575	16 508	31 626	3 420

*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. Ces productions annuelles en kt sont converties en ktMS grâce au facteur $FRAC_{MH_grain}$ (taux d'humidité du grain). 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, 14 % M.H. pour le blé dur, le pois et le soja, 9 % M.H. pour le tournesol et le colza.

IR

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].

Area_{BURNT} et Frac_{REMOVE}

Les paramètres Area_{BURNT} et Frac_{REMOVE} 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.

$$(Area - Area_{BURNT} \times CF) \times (1 - Frac_{REMOVE}) = Area \times (1 - Frac_{BURNT} \times CF) \times (1 - Frac_{REMOVE})$$

Avec :

Frac_{BURNT} : part des surfaces pour lesquelles les résidus ont été brûlés,

Si l'on développe l'équation, on obtient :

$$= Area \times (1 - Frac_{BURNT} \times CF - Frac_{REMOVE} + Frac_{REMOVE} \times Frac_{BURNT} \times CF)$$

On estime ensuite Frac_{REMOVE} en l'approximant par Frac_{REMOVE—surf}, part des surfaces sur lesquelles les résidus sont ôtés annuellement issues de [485].

Cf

Les facteurs de combustion Cf proviennent des lignes directrices du GIEC 2006 [902], chapitre 2, table 2.6.

N_{AG}

Le pourcentage d'azote dans la biomasse sèche des résidus aériens (N_{AG}) 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].

R_{BG-BIO}

Les valeurs prises correspondent aux valeurs par défaut des lignes directrices 2006 [799].

N_{BG}

Le pourcentage d'azote dans la biomasse sèche des résidus racinaires (N_{BG}) correspond aux valeurs par défaut des lignes directrices 2006 [799]

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.

Tableau 274 : Synthèse des paramètres retenus pour les résidus de culture

	Céréales (hors riz)	Riz	Oléagineux	Soja	Protéagineux	Maïs ensilage	Tubercules, racines	Cultures fourragères	Prairies artificielles et temporaires	Prairies permanentes
FracRENEW	1	1	1	1	1	1	1	1	0,33333333	0,125
FRAC _{MH, grain} : teneur en humidité du grain (normes commerciales)	14% - 15%	15,00%	9,00%	14%	14%	NA	75,0% - 80,0%	0%-78%	0%	0%
IR (MS récoltée /MS biomasse aérienne)	41,7% - 53,0%	41,67%	13,19% - 41,2%	32%	53,0% - 58,0%	90,00%	73,0% - 80,0%	Aboveground residues =0,1*RTMS+1,06 [799]	Aboveground residues =0,3*RTMS+0 [799]	
FRAC _{NCR0} teneur en azote des résidus (%)	0,46% - 1,19%	0,79%	0,70% - 1,30%	0,80%	1,35%	0,60%	1,45%-2,1%	1,5%-1,9% [799]	2,5% [799]	2,5% [799]
MS (t/ha)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2,75-6,7	NA	NA	NA
Cr: combustion factor	80% - 90%	80,00%	80,00%	80,00%	80,00%	80,00%	NA	80% - 90%	90,00%	90,00%
% résidus exportés	1990	1,4% - 93%	0,00%	0,0% - 3,6%	0,00%	0,0% - 15,3%	NA	4,1% - 6,3%	NA	NA
	2000	1,4% - 93%	0,00%	0,0% - 3,6%	0,00%	0,0% - 15,3%	NA	4,1% - 6,3%	NA	NA
	2005	0,0% - 74,5%	0,00%	1,8% - 63,7%	1,38%	0,9% - 8,8%	NA	3,8% - 14,5%	NA	NA
	2010	0,8%-82,9%	0,00%	1,4% - 63,7%	1,38%	24,30%	NA	5,6% - 14,5%	0,0%-26%	NA
	2016...	0,8%-82,9%	0,00%	1,4% - 63,7%	1,38%	7,6%-24,30%	NA	11,90%	0,0%-28%	NA
% résidus brûlés	1990	0,0% - 0,55%	100%	0,2% - 59,8%	0,00%	0,0% - 0,3%	NA	0,0% - 4,8%	0,00%	NA
	2000	0,0% - 7,6%	100%	0,2% - 59,8%	0,00%	0,0% - 0,3%	NA	0,0% - 4,8%	0,00%	NA
	2005	0,0% - 1,1%	96,51%	0,1% - 5,3%	0,00%	0,0% - 0,4%	NA	0,0% - 3,2%	0,00%	NA
	2010	0,0% - 1,3%	96,51%	0% - 5,3%	0,00%	0%	NA	0,0% - 3,2%	0,0%-1,08%	NA
	2016...	0,0% - 0,4%	96,51%	0% - 5,3%	0,00%	0%	NA	0,4% - 3,1%	0,00%	NA
NBG [799]	0,008-0,014	0,009	0,009	0,008	0,008	0,007	0,014	0,007-0,014	0,016	0,012
RBG BIO [799]	0,22-0,28	0,16	0,22	0,19	0,19	0,22	0,2	0,2-0,54	0,8	0,8

Annexe 4

Approche de référence Tier 1 du GIEC

L'approche de référence tier 1 du GIEC pour le calcul des émissions de CO₂ et la comparaison avec la méthode sectorielle sont présentées dans le corps du rapport à la section 3.2.1.

Annexe 5

Impact par grands secteurs des modifications intervenues depuis la soumission de mars 2021

Les recalculs détaillés sont disponibles dans chaque chapitre sectoriel (chapitres 3 à 9). Les comparaisons sont réalisées entre la soumission de mars 2021 et celle de mars 2022. Ainsi, des différences peuvent exister entre les résultats indiqués dans les tables 8 du CRF qui comparent deux éditions successives des tables CRF (pouvant contenir, par exemple, des modifications engendrées par un Saturday Paper identifié lors d'une revue annuelle). Des tableaux agrégés par grand secteur CRF et par substance sont présentés ci-dessous. Les impacts des recalculs au niveau CRF le plus fin de l'inventaire sont disponibles en annexe électronique pour toutes les années de l'inventaire (cf. fichier « Recalculs-d.xlsm »).

Tableau 275 : Modifications intervenues dans le secteur de l'énergie (CRF 1) entre la mise à jour de la soumission de mars 2021 et celle de mars 2022 (Périmètre Kyoto)

OLD	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO2	kt	350 724	349 482	369 245	380 409	350 126	327 500	331 549	331 199	299 541	305 418	309 188	310 813	296 748	291 209
CH4	kt	496	476	302	197	149	127	130	129	109	109	111	104	98	94
N2O	kt	11	13	13	14	12	12	12	13	12	12	12	12	12	12
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	1 974	1 830	1 673	1 479	1 136	1 079	1 045	1 025	936	908	860	834	776	732
CO	kt	9 824	7 734	5 582	4 163	3 034	2 548	2 508	2 507	2 160	2 138	2 177	2 080	1 966	1 909
NM VOC	kt	1 750	1 415	981	645	388	322	317	309	262	256	250	235	220	213
SO2	kt	1 274	940	617	470	275	231	231	210	166	158	142	136	129	104
NH3	kt	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
NEW	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO2	kt	351 435	350 115	370 522	381 286	350 369	328 513	332 677	332 424	300 829	307 160	310 071	311 643	297 061	291 379
CH4	kt	496	477	303	197	148	127	131	130	110	110	112	105	99	96
N2O	kt	12	14	13	14	12	12	12	13	12	13	13	12	12	12
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	2 023	1 864	1 697	1 483	1 142	1 087	1 057	1 035	944	915	864	836	781	737
CO	kt	10 192	8 048	5 758	4 215	3 046	2 576	2 555	2 563	2 209	2 190	2 232	2 142	2 033	1 984
NM VOC	kt	1 753	1 428	990	645	394	334	332	326	277	272	264	248	232	225
SO2	kt	1 274	940	617	465	276	231	231	211	166	159	143	138	130	105
NH3	kt	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO2e	366 521	365 342	380 654	389 448	357 436	334 192	338 401	338 327	305 816	311 755	315 565	316 988	302 649	296 998
Nouveau	kt CO2e	367 272	366 079	381 989	390 391	357 711	335 267	339 615	339 478	307 240	313 634	316 599	317 967	303 117	297 313
Différence	kt CO2e	+750	+736	+1 336	+943	+275	+1 075	+1 214	+1 151	+1 425	+1 879	+1 034	+980	+468	+316
	%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+0%	+1%	+0%	+0%	+0%	+0%

Tableau 276 : Modifications intervenues dans le secteur des procédés industriels (CRF 2) entre la mise à jour de la soumission de mars 2021 et celle de mars 2022 (Périmètre Kyoto)

OLD	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO2	kt	42 838	38 551	40 518	40 585	32 864	32 582	30 611	32 454	32 150	30 651	30 837	32 339	31 877	31 541
CH4	kt	9	9	8	6	5	4	4	4	4	3	4	3	3	3
N2O	kt	80	87	40	23	8	5	3	3	4	4	3	6	4	3
HFCs	: CO2 équivalen	4 402 200	1 811 452	6 830 899	13 050 329	17 307 201	18 167 351	18 440 467	18 416 756	18 391 007	18 314 207	18 167 199	17 407 453	15 756 194	14 154 048
PFCs	: CO2 équivalen	5 202 467	3 064 560	2 997 489	1 760 328	617 370	774 038	790 345	670 495	615 881	536 565	666 008	707 679	679 839	619 762
Unspecifie	CO2 équivalen	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA
SF6	kt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NF3	kt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOx	kt	25	15	15	13	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7
CO	kt	765	1 135	801	972	1 028	807	538	582	413	399	396	434	421	427
NMVOC	kt	753	673	675	552	444	424	384	381	405	380	367	382	368	363
SO2	kt	29	22	25	18	10	10	10	10	11	11	12	11	10	9
NH3	kt	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
NEW	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO2	kt	42 902	38 604	40 574	40 644	32 910	32 604	30 655	32 529	32 256	30 753	30 937	32 379	31 929	31 576
CH4	kt	9	9	8	6	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3
N2O	kt	80	87	40	23	8	5	3	3	4	4	3	6	4	3
HFCs	: CO2 équivalen	4 402 200	1 702 338	6 735 714	12 862 162	16 930 104	17 628 799	17 862 070	17 771 584	17 661 759	17 494 301	17 205 167	16 637 217	14 847 438	12 992 417
PFCs	: CO2 équivalen	5 202 467	3 064 560	2 997 489	1 760 328	617 370	774 038	790 345	670 495	615 881	536 565	666 008	707 679	676 735	615 403
Unspecifie	CO2 équivalen	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA
SF6	kt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NF3	kt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOx	kt	25	16	15	13	8	7	7	8	7	8	7	7	7	7
CO	kt	767	1 138	803	974	1 029	808	539	583	414	400	397	435	422	428
NMVOC	kt	754	674	677	553	444	425	385	382	406	380	367	371	359	360
SO2	kt	29	22	25	18	10	10	10	10	11	11	12	11	10	9
NH3	kt	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO2e	78 665	72 053	64 706	63 753	54 130	53 721	51 642	53 228	52 916	51 384	51 299	52 661	49 920	47 677
Nouveau	kt CO2e	78 729	71 997	64 668	63 620	53 798	53 201	51 106	52 656	52 291	50 664	50 435	51 928	49 059	46 564
Différence	kt CO2e	+64	-55	-39	-133	-332	-519	-536	-572	-625	-720	-864	-733	-861	-1 113
	%	+0%	-0%	-0%	-0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-2%	-1%	-2%	-2%

Tableau 277 : Modifications intervenues dans le secteur de l'agriculture (CRF 3) entre la mise à jour de la soumission de mars 2021 et celle de mars 2022 (Périmètre Kyoto)

OLD	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO2	kt	1 894	1 973	1 989	1 965	1 986	2 053	2 157	2 061	2 127	2 176	2 164	2 108	2 184	2 091
CH4	kt	1 689	1 646	1 689	1 575	1 573	1 565	1 537	1 536	1 567	1 572	1 555	1 540	1 523	1 499
N2O	kt	125	120	126	118	116	114	116	114	118	117	114	117	114	113
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	78	72	75	69	65	64	64	63	65	65	65	65	65	64
CO	kt	86	84	89	63	55	51	50	44	43	43	38	41	39	42
NM VOC	kt	411	416	407	395	383	390	382	384	391	396	392	394	399	388
SO2	kt	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NH3															
NEW	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO2	kt	1 894	1 973	1 989	1 965	1 986	2 053	2 157	2 061	2 127	2 176	2 164	2 108	2 184	2 032
CH4	kt	1 689	1 646	1 688	1 575	1 573	1 565	1 537	1 536	1 567	1 571	1 555	1 541	1 524	1 498
N2O	kt	123	118	125	116	114	112	114	112	116	115	112	115	112	111
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	78	72	75	69	65	64	64	63	65	65	65	65	65	64
CO	kt	86	84	89	63	55	51	50	44	43	43	38	41	39	42
NM VOC	kt	416	422	413	401	389	398	389	391	398	403	399	401	405	395
SO2	kt	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NH3															
PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO2e	81 392	78 871	81 874	76 579	75 763	75 086	75 008	74 546	76 527	76 372	75 131	75 453	74 131	73 190
Nouveau	kt CO2e	80 803	78 281	81 292	76 018	75 203	74 482	74 420	73 954	75 909	75 720	74 488	74 836	73 549	72 498
Différence	kt CO2e	-589	-590	-582	-561	-560	-603	-588	-592	-619	-652	-643	-617	-581	-692
	%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%

Tableau 278 : Modifications intervenues dans le secteur de l'UTCATF (CRF 4) entre la mise à jour de la soumission de mars 2021 et celle de mars 2022 (Périmètre Kyoto)

OLD	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO2	kt	-26 129	-29 644	-22 444	-49 047	-40 261	-39 983	-42 101	-45 266	-39 163	-35 400	-38 107	-36 508	-35 019	-35 057
CH4	kt	39	149	69	49	47	46	46	43	45	45	46	47	47	48
N2O	kt	11	11	11	10	11	11	11	10	11	10	10	10	10	10
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	21	19	19	16	16	16	16	15	16	16	17	18	17	18
CO	kt	740	675	695	582	579	577	578	551	576	579	607	635	622	642
NM VOC	kt	1 102	1 148	1 126	1 217	1 102	1 190	1 144	1 157	1 174	1 256	1 210	1 270	1 382	1 315
SO2	kt	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NH3															
NEW	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO2	kt	-28 145	-31 795	-24 595	-51 471	-42 701	-42 732	-45 183	-48 623	-42 463	-38 599	-29 580	-20 767	-18 069	-16 293
CH4	kt	37	147	68	48	45	44	44	41	43	43	44	45	45	46
N2O	kt	11	11	11	10	11	11	10	10	10	10	10	10	10	10
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	21	19	20	16	16	16	16	15	16	16	17	18	17	18
CO	kt	742	676	696	583	580	576	575	546	571	574	601	629	615	634
NM VOC	kt	1 102	1 148	1 126	1 217	1 102	1 190	1 144	1 157	1 174	1 256	1 210	1 270	1 382	1 315
SO2	kt	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NH3															
PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO2e	-21 917	-22 723	-17 490	-44 700	-35 884	-35 635	-37 788	-41 054	-34 904	-31 150	-33 827	-32 197	-30 733	-30 739
Nouveau	kt CO2e	-23 986	-24 879	-19 709	-47 311	-38 355	-38 457	-40 994	-44 591	-38 414	-34 577	-25 565	-16 743	-14 091	-12 288
Différence	kt CO2e	-2 069	-2 156	-2 219	-2 612	-2 471	-2 822	-3 206	-3 537	-3 511	-3 427	+8 262	+15 454	+16 642	+18 450
	%	+9%	+9%	+13%	+6%	+7%	+8%	+8%	+9%	+10%	+11%	-24%	-48%	-54%	-60%

Tableau 279 : Modifications intervenues dans le secteur des déchets (CRF 5) entre la mise à jour de la soumission de mars 2021 et celle de mars 2022 (Périmètre Kyoto)

OLD	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO2	kt	2 209	2 238	1 719	1 565	1 614	1 654	1 543	1 545	1 794	1 542	1 504	1 663	1 393	1 361
CH4	kt	573	684	744	765	741	724	701	698	677	638	636	641	633	644
N2O	kt	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	7	7	5	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
CO	kt	15	15	14	14	13	12	13	13	13	13	13	13	14	14
NM VOC	kt	8	9	9	10	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8
SO2	kt	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NH3	kt	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
NEW	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO2	kt	2 194	2 223	1 704	1 549	1 608	1 650	1 542	1 545	1 795	1 542	1 552	1 475	1 439	1 738
CH4	kt	573	684	744	765	739	722	698	694	671	630	627	631	623	633
N2O	kt	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
HFCs															
PFCs															
Unspecified mix of HFCs and PFCs															
SF6															
NF3															
NOx	kt	7	7	5	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
CO	kt	15	15	14	14	14	14	15	16	16	17	17	17	19	20
NM VOC	kt	8	9	9	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
SO2	kt	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NH3	kt	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
PRG	unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ancien	kt CO2e	17 468	20 292	21 206	21 455	20 850	20 417	19 749	19 679	19 364	18 140	18 029	18 353	17 890	18 134
Nouveau	kt CO2e	17 283	20 118	21 056	21 362	20 756	20 314	19 625	19 518	19 173	17 905	17 807	17 860	17 596	18 165
Différence	kt CO2e	-185	-174	-150	-94	-94	-104	-124	-161	-191	-234	-223	-493	-294	+31
	%	-1%	-1%	-1%	-0%	-0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-3%	-2%	+0%

Annexe 6

Incertitudes

Tableau 280 : Calcul d'incertitude sur les émissions des GES en France en 2020

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

CALCUL D'INCERTITUDE SUR LES EMISSIONS DES GES EN FRANCE (KYOTO) / METHODE TIER 1 DU GIEC(*)

source CITEPA / format CCNUCC - Mars 2022

CITEPA-incertitudes-GES.xlsx

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Catégorie de source du GIEC / combustible	Gaz	Emissions	Emissions	Incertain- tudes des données sur les activités	Incertain- tudes des facteurs d'émission	Incertain- tude combinée	Incertain- tude combinée en % des émissions totales excl. UTCATF	Incertain- tude d'évolution sur les émissions totales excl. UTCATF	Incertain- tude combinée en % des émissions totales incl. UTCATF	Incertain- tude d'évolution sur les émissions totales incl. UTCATF
		1990 kt CO2e	2020 kt CO2e	2020 (%)	2020 (%)	2020 (%)	2020	2020	2020	2020
1A1 Energy Industries / oil	CO2	19 776	7 447	1,0	2,0	2,2	0,04	0,03	0,04	0,03
1A1 Energy Industries / coal	CO2	41 950	8 376	1,0	2,0	2,2	0,05	0,08	0,05	0,09
1A1 Energy Industries / gas	CO2	1 539	14 162	1,0	2,0	2,2	0,08	0,06	0,08	0,06
1A1 Energy Industries / other fossil fuels	CO2	2 557	6 837	1,0	6,0	6,1	0,1	0,06	0,1	0,06
1A1 Energy Industries / oil	CH4	13	5,8	1,0	100	100	0,001	0,001	0,002	0,001
1A1 Energy Industries / coal	CH4	16	1,0	1,0	100	100	0,000	0,002	0,000	0,002
1A1 Energy Industries / gas	CH4	1,8	18	1,0	100	100	0,005	0,003	0,005	0,003
1A1 Energy Industries / other fossil fuels	CH4	0,01	0,03	1,0	100	100	0,000	0,000	0,000	0,000
1A1 Energy Industries / biomass	CH4	36	20	1,0	100	100	0,005	0,001	0,005	0,001
1A1 Energy Industries / oil	N2O	38	23	1,0	100	100	0,006	0,001	0,006	0,001
1A1 Energy Industries / coal	N2O	217	18	1,0	100	100	0,004	0,03	0,005	0,03
1A1 Energy Industries / gas	N2O	1,0	45	1,0	100	100	0,01	0,008	0,01	0,009
1A1 Energy Industries / other fossil fuels	N2O	75	55	1,0	100	100	0,01	0,000	0,01	0,000
1A1 Energy Industries / biomass	N2O	117	107	1,0	100	100	0,03	0,004	0,03	0,004
1A2 Manufacturing Industries / oil	CO2	24 027	9 433	3,0	2,0	3,6	0,09	0,08	0,09	0,08
1A2 Manufacturing Industries / coal	CO2	16 125	4 916	3,0	2,0	3,6	0,05	0,05	0,05	0,05
1A2 Manufacturing Industries / gas	CO2	23 616	25 112	3,0	2,0	3,6	0,2	0,2	0,2	0,2
1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels	CO2	823	2 127	3,0	6,0	6,7	0,04	0,02	0,04	0,02
1A2 Manufacturing Industries / oil	CH4	30	7,6	3,0	100	100	0,002	0,003	0,002	0,003
1A2 Manufacturing Industries / coal	CH4	35	8,3	3,0	100	100	0,002	0,003	0,002	0,003
1A2 Manufacturing Industries / gas	CH4	11	13	3,0	100	100	0,003	0,001	0,003	0,001
1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels	CH4	1,4	7,6	3,0	100	100	0,002	0,001	0,002	0,001
1A2 Manufacturing Industries / biomass	CH4	19	59	3,0	100	100	0,01	0,008	0,02	0,009
1A2 Manufacturing Industries / oil	N2O	363	335	3,0	100	100	0,09	0,01	0,09	0,01
1A2 Manufacturing Industries / coal	N2O	65	16	3,0	100	100	0,004	0,006	0,004	0,006
1A2 Manufacturing Industries / gas	N2O	14	18	3,0	100	100	0,005	0,002	0,005	0,002
1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels	N2O	2,6	14	3,0	100	100	0,003	0,002	0,004	0,002
1A2 Manufacturing Industries / biomass	N2O	33	120	3,0	100	100	0,03	0,02	0,03	0,02
1A3 Transport	CO2	120 341	108 179	3,0	1,0	3,2	0,9	0,8	0,9	0,9
1A3 Transport	CH4	977	143	3,0	50	50	0,02	0,05	0,02	0,05
1A3 Transport	N2O	975	1 147	3,0	50	50	0,1	0,04	0,2	0,04
1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil	CO2	58 365	30 313	5,0	2,0	5,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal	CO2	3 907	209	5,0	2,0	5,4	0,003	0,010	0,003	0,01
1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas	CO2	29 583	38 330	5,0	2,0	5,4	0,5	0,5	0,5	0,5
1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil fuels	CO2	0,00	52	5,0	2,0	5,4	0,001	0,001	0,001	0,001
1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil	CH4	183	85	5,0	100	100	0,02	0,009	0,02	0,009
1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal	CH4	161	6,9	5,0	100	100	0,002	0,02	0,002	0,02
1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas	CH4	65	85	5,0	100	100	0,02	0,007	0,02	0,007
1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil fuels	CH4	0,00	0,6	5,0	100	100	0,000	0,000	0,000	0,000
1A4 Commercial, resid., agriculture... / biomass	CH4	4 239	813	5,0	100	100	0,23	0,4	0,2	0,4
1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil	N2O	1 023	958	5,0	100	100	0,2	0,04	0,3	0,04
1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal	N2O	18	1,0	5,0	100	100	0,000	0,002	0,000	0,002
1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas	N2O	16	20	5,0	100	100	0,005	0,002	0,005	0,002
1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil fuels	N2O	0,00	3,6	5,0	100	100	0,001	0,001	0,001	0,001
1A4 Commercial, resid., agriculture... / biomass	N2O	413	391	5,0	100	100	0,10	0,02	0,1	0,02
1A5 Other	CO2	4 464	1 476	5,0	2,0	5,4	0,02	0,02	0,02	0,02
1A5 Other	CH4	3,0	2,0	5,0	100	100	0,001	0,000	0,001	0,000
1A5 Other	N2O	35	8,1	5,0	100	100	0,002	0,003	0,002	0,003
1B1 Solid Fuels	CH4	4 810	26	5,0	10	11	0,001	0,06	0,001	0,07
1B2 Oil and Natural Gas	CO2	4 362	2 203	10	2,0	10	0,06	0,06	0,06	0,06
1B2 Oil and Natural Gas	CH4	1 801	826	10	100	100	0,2	0,09	0,2	0,10
1B2 Oil and Natural Gas	N2O	26	151	10	100	100	0,04	0,02	0,04	0,03
2A Mineral industry	CO2	14 977	9 083	5,0	7,6	9,1	0,2	0,1	0,2	0,1
2B Chemical industry	CO2	7 540	6 283	3,0	6,0	6,7	0,1	0,05	0,1	0,05
2B Chemical industry	CH4	78	31	3,0	100	100	0,008	0,005	0,008	0,005
2B Chemical industry	N2O	23 708	606	-	-	7,5	0,01	0,000	0,01	0,000
2B Chemical industry	HFC	4 374	94	2,0	10	10	0,002	0,06	0,003	0,06
2B Chemical industry	PFC	1 191	0,00	2,0	10	10	0,000	0,02	0,000	0,02
2B Chemical industry	SF6	130	0,00	30	30	42	0,000	0,005	0,000	0,005
2C Metal industry	CO2	17 678	9 863	10	10	14	0,4	0,3	0,4	0,3
2C Metal industry	CH4	141	26	10	10	14	0,001	0,002	0,001	0,002
2C Metal industry	PFC	3 567	61	2,0	12	12	0,002	0,06	0,002	0,06
2C Metal industry	SF6	721	7,7	5,0	30	30	0,001	0,03	0,001	0,03

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

2D Non-energy products from fuels and solvent use	CO2	2 048	1 068	15	40	43	0,1	0,05	0,1	0,05
2D Non-energy products from fuels and solvent use	CH4	1,4	0,2	20	100	102	0,000	0,000	0,000	0,000
2D Non-energy products from fuels and solvent use	N2O	1,4	2,0	20	100	102	0,001	0,000	0,001	0,000
2E Electronic Industry	HFC	29	6,6	10	100	100	0,002	0,003	0,002	0,003
2E Electronic Industry	PFC	203	77	10	30	32	0,006	0,004	0,006	0,005
2E Electronic Industry	SF6	56	4,1	10	300	300	0,003	0,02	0,003	0,02
2E Electronic Industry	NF3	16	8,5	10	70	71	0,002	0,000	0,002	0,001
2F Product uses as substitutes for ODS	HFC	0,00	11 634	20	20	28	0,8	0,7	0,9	0,8
2G Other product manufacture and use	CO2	659	460	5,0	7,6	9,1	0,01	0,006	0,01	0,006
2G Other product manufacture and use	N2O	121	133	20	1,0	20	0,007	0,007	0,007	0,007
2G Other product manufacture and use	HFC	0,00	0,6	10	20	22	0,000	0,000	0,000	0,000
2G Other product manufacture and use	PFC	241	405	20	10	22	0,02	0,02	0,02	0,02
2G Other product manufacture and use	SF6	1 249	335	30	20	36	0,03	0,03	0,03	0,04
2H Other	CO2	0,04	0,1	5,0	10	11	0,000	0,000	0,000	0,000
3A Enteric Fermentation	CH4	38 631	33 137	5,0	15	16	1,3	0,5	1,4	0,5
3B Manure Management	CH4	3 461	3 796	5,0	30	30	0,3	0,09	0,3	0,09
3B Manure Management	N2O	2 819	2 350	5,0	150	150	0,9	0,09	0,9	0,09
3C Rice Cultivation	CH4	58	38	-	-	78	0,008	0,000	0,008	0,000
3Da Direct N2O emissions from managed soils	N2O	27 839	23 998	-	-	146	8,9	0,6	9,2	0,6
3Db Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	6 011	5 171	-	-	363	4,8	0,06	5,0	0,07
3F Field burning of agricultural residues	CH4	69	28	30	40	50	0,004	0,003	0,004	0,003
3F Field burning of agricultural residues	N2O	21	8,7	30	50	58	0,001	0,001	0,001	0,001
3G Liming	CO2	915	641	5,0	1,0	5,1	0,008	0,008	0,009	0,009
3H Urea application	CO2	850	1 036	5,0	1,0	5,1	0,01	0,01	0,01	0,01
3I Other carbon-containing fertilizers	CO2	128	182	5,0	4,0	6,4	0,003	0,002	0,003	0,003
4A1 Forest land remaining forest land	CO2	-32 357	-24 144	-	-	18			1,1	0,08
4A1 Forest land remaining forest land	CH4	602	587	-	-	100			0,2	0,000
4A1 Forest land remaining forest land	N2O	392	314	-	-	100			0,08	0,000
4A2 Land converted to forest land	CO2	-7 256	-7 245	-	-	51			1,0	0,02
4A2 Land converted to forest land	N2O	51	50	-	-	100			0,01	0,000
4B1 Cropland remaining cropland	CO2	141	-6 832	-	-	100			1,8	0,03
4B1 Cropland remaining cropland	CH4	71	58	-	-	100			0,02	0,000
4B1 Cropland remaining cropland	N2O	47	38	-	-	100			0,01	0,000
4B2 Land converted to cropland	CO2	20 999	18 340	-	-	41			2,0	0,10
4B2 Land converted to cropland	CH4	56	52	-	-	100			0,01	0,000
4B2 Land converted to cropland	N2O	1 506	1 308	-	-	100			0,3	0,001
4C1 Grassland remaining grassland	CO2	462	-1 087	-	-	100			0,3	0,001
4C1 Grassland remaining grassland	CH4	108	95	-	-	100			0,03	0,000
4C1 Grassland remaining grassland	N2O	65	56	-	-	100			0,01	0,000
4C2 Land converted to grassland	CO2	-14 484	-7 457	-	-	51			1,0	0,02
4C2 Land converted to grassland	CH4	39	29	-	-	100			0,008	0,000
4C2 Land converted to grassland	N2O	76	44	-	-	100			0,01	0,000
4D2 Land converted to wetlands	CO2	358	495	-	-	72			0,09	0,000
4D2 Land converted to wetlands	CH4	6,9	8,9	-	-	100			0,002	0,000
4D2 Land converted to wetlands	N2O	0,6	0,7	-	-	100			0,000	0,000
4E Settlements	CO2	9 092	10 744	-	-	32			0,9	0,03
4E Settlements	CH4	49	58	-	-	100			0,02	0,000
4E Settlements	N2O	592	592	-	-	100			0,2	0,000
4G Harvested Wood Products	CO2	-5 100	-814	10	100	100			0,2	0,6
4H Other	CO2	0,00	40	5,0	30	30			0,003	0,002
4H Other	CH4	0,00	218	-	-	100			0,06	0,000
4H Other	N2O	498	447	-	-	100			0,1	0,000
5A Solid Waste Disposal on Land	CH4	12 563	11 965	15	175	176	5,3	0,9	5,5	0,9
5B Biological treatment of solid waste	CH4	245	1 125	15	100	101	0,3	0,2	0,3	0,2
5B Biological treatment of solid waste	N2O	49	215	15	100	101	0,06	0,03	0,06	0,04
5C Incineration and open burning of waste	CO2	2 194	1 603	15	20	25	0,1	0,001	0,1	0,07
5C Incineration and open burning of waste	CH4	20	38	30	50	58	0,006	0,003	0,006	0,004
5C Incineration and open burning of waste	N2O	150	63	15	30	34	0,005	0,003	0,006	0,004
5D Wastewater treatment and discharge	CH4	1 491	2 330	35	100	106	0,6	0,2	0,7	0,3
5D Wastewater treatment and discharge	N2O	571	319	35	100	106	0,09	0,02	0,09	0,04
Incertitude sur les émissions totales							11,7	1,9	12,6	2,1

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 déchets ("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 281 : Calcul d'incertitude sur les émissions des GES en France en 1990

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

CALCUL D'INCERTITUDE SUR LES EMISSIONS DES GES EN FRANCE (KYOTO) / METHODE TIER 1 DU GIEC(*)

source CITEPA / format CCNUCC - Mars 2022

CITEPA-incertitudes-GES.xlsx

A	B	C	D	E	F	G	H
Catégorie de source du GIEC / combustible	Gaz	Emissions 1990 kt CO2e	Incertain- tudes des données sur les activités 1990	Incertain- tudes des facteurs d'émission 1990 (%)	Incertain- tude combinée 1990 (%)	Incertain- tude combinée en % des émissions totales excl. UTCATF 1990 (%)	Incertain- tude combinée en % des émissions totales incl. UTCATF 1990 (%)
1A1 Energy Industries / oil	CO2	19 776	1,0	2,0	2,2	0,08	0,09
1A1 Energy Industries / coal	CO2	41 950	1,0	2,0	2,2	0,2	0,2
1A1 Energy Industries / gas	CO2	1 539	1,0	2,0	2,2	0,006	0,007
1A1 Energy Industries / other fossil fuels	CO2	2 557	1,0	6,0	6,1	0,03	0,03
1A1 Energy Industries / oil	CH4	13	1,0	100	100	0,002	0,002
1A1 Energy Industries / coal	CH4	16	1,0	100	100	0,003	0,003
1A1 Energy Industries / gas	CH4	1,8	1,0	100	100	0,000	0,000
1A1 Energy Industries / other fossil fuels	CH4	0,01	1,0	100	100	0,000	0,000
1A1 Energy Industries / biomass	CH4	36	1,0	100	100	0,007	0,007
1A1 Energy Industries / oil	N2O	38	1,0	100	100	0,007	0,007
1A1 Energy Industries / coal	N2O	217	1,0	100	100	0,04	0,04
1A1 Energy Industries / gas	N2O	1,0	1,0	100	100	0,000	0,000
1A1 Energy Industries / other fossil fuels	N2O	75	1,0	100	100	0,01	0,01
1A1 Energy Industries / biomass	N2O	117	1,0	100	100	0,02	0,02
1A2 Manufacturing Industries / oil	CO2	24 027	3,0	2,0	3,6	0,2	0,2
1A2 Manufacturing Industries / coal	CO2	16 125	3,0	2,0	3,6	0,1	0,1
1A2 Manufacturing Industries / gas	CO2	23 616	3,0	2,0	3,6	0,2	0,2
1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels	CO2	823	3,0	6,0	6,7	0,01	0,01
1A2 Manufacturing Industries / oil	CH4	30	3,0	100	100	0,006	0,006
1A2 Manufacturing Industries / coal	CH4	35	3,0	100	100	0,006	0,007
1A2 Manufacturing Industries / gas	CH4	11	3,0	100	100	0,002	0,002
1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels	CH4	1,4	3,0	100	100	0,000	0,000
1A2 Manufacturing Industries / biomass	CH4	19	3,0	100	100	0,003	0,004
1A2 Manufacturing Industries / oil	N2O	363	3,0	100	100	0,07	0,07
1A2 Manufacturing Industries / coal	N2O	65	3,0	100	100	0,01	0,01
1A2 Manufacturing Industries / gas	N2O	14	3,0	100	100	0,003	0,003
1A2 Manufacturing Industries / other fossil fuels	N2O	2,6	3,0	100	100	0,000	0,000
1A2 Manufacturing Industries / biomass	N2O	33	3,0	100	100	0,006	0,006
1A3 Transport	CO2	120 341	3,0	1,0	3,2	0,7	0,7
1A3 Transport	CH4	977	3,0	50	50	0,09	0,09
1A3 Transport	N2O	975	3,0	50	50	0,09	0,09
1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil	CO2	58 365	5,0	2,0	5,4	0,6	0,6
1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal	CO2	3 907	5,0	2,0	5,4	0,04	0,04
1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas	CO2	29 583	5,0	2,0	5,4	0,3	0,3
1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil fuels	CO2	0,000	5,0	2,0	5,4	0,000	0,000
1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil	CH4	183	5,0	100	100	0,03	0,04
1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal	CH4	161	5,0	100	100	0,03	0,03
1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas	CH4	65	5,0	100	100	0,01	0,01
1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil fuels	CH4	0,000	5,0	100	100	0,000	0,000
1A4 Commercial, resid., agriculture... / biomass	CH4	4 239	5,0	100	100	0,8	0,8
1A4 Commercial, resid., agriculture... / oil	N2O	1 023	5,0	100	100	0,2	0,2
1A4 Commercial, resid., agriculture... / coal	N2O	18	5,0	100	100	0,003	0,004
1A4 Commercial, resid., agriculture... / gas	N2O	16	5,0	100	100	0,003	0,003
1A4 Commercial, resid., agriculture... / other fossil fuels	N2O	0,000	5,0	100	100	0,000	0,000
1A4 Commercial, resid., agriculture... / biomass	N2O	413	5,0	100	100	0,08	0,08
1A5 Other	CO2	4 464	5,0	2,0	5,4	0,04	0,05
1A5 Other	CH4	3,0	5,0	100	100	0,001	0,001
1A5 Other	N2O	35	5,0	100	100	0,006	0,007
1B1 Solid Fuels	CH4	4 810	5,0	10	11	0,10	0,1
1B2 Oil and Natural Gas	CO2	4 362	10	2,0	10	0,08	0,09
1B2 Oil and Natural Gas	CH4	1 801	10	100	100	0,3	0,3
1B2 Oil and Natural Gas	N2O	26	10	100	100	0,005	0,005
2A Mineral industry	CO2	14 977	5,0	7,6	9,1	0,2	0,3
2B Chemical industry	CO2	7 540	3,0	6,0	6,7	0,09	0,10
2B Chemical industry	CH4	78	3,0	100	100	0,01	0,02
2B Chemical industry	N2O	23 708	-	-	7,5	0,3	0,3
2B Chemical industry	HFC	4 374	2,0	10	10	0,08	0,09
2B Chemical industry	PFC	1 191	2,0	10	10	0,02	0,02
2B Chemical industry	SF6	130	30	30	42	0,01	0,01
2C Metal industry	CO2	17 678	10	10	14	0,5	0,5
2C Metal industry	CH4	141	10	10	14	0,004	0,004
2C Metal industry	PFC	3 567	2,0	12	12	0,08	0,08
2C Metal industry	SF6	721	5,0	30	30	0,04	0,04

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

2D Non-energy products from fuels and solvent use	CO2	2 048	15	40	43	0,2	0,2
2D Non-energy products from fuels and solvent use	CH4	1,4	20	100	102	0,000	0,000
2D Non-energy products from fuels and solvent use	N2O	1,4	20	100	102	0,000	0,000
2E Electronic Industry	HFC	29	10	100	100	0,005	0,006
2E Electronic Industry	PFC	203	10	30	32	0,01	0,01
2E Electronic Industry	SF6	56	10	300	300	0,03	0,03
2E Electronic Industry	NF3	16	10	70	71	0,002	0,002
2F Product uses as substitutes for ODS	HFC	0,000	20	20	28	0,000	0,000
2G Other product manufacture and use	CO2	659	5,0	7,6	9,1	0,01	0,01
2G Other product manufacture and use	N2O	121	20	1,0	20	0,004	0,005
2G Other product manufacture and use	HFC	0,000	10	20	22	0,000	0,000
2G Other product manufacture and use	PFC	241	20	10	22	0,010	0,01
2G Other product manufacture and use	SF6	1 249	30	20	36	0,08	0,09
2H Other	CO2	0,04	5,0	10	11	0,000	0,000
3A Enteric Fermentation	CH4	38 631	5,0	15	16	1,1	1,2
3B Manure Management	CH4	3 461	5,0	30	30	0,2	0,2
3B Manure Management	N2O	2 819	5,0	50	50	0,3	0,3
3C Rice Cultivation	CH4	58	-	-	78	0,008	0,009
3Da Direct N2O emissions from managed soils	N2O	27 839	-	-	146	7,5	7,8
3Db Indirect N2O Emissions from managed soils	N2O	6 011	-	-	363	4,0	4,2
3F Field burning of agricultural residues	CH4	69	30	80	85	0,01	0,01
3F Field burning of agricultural residues	N2O	21	30	95	100	0,004	0,004
3G Liming	CO2	915	5,0	1,0	5,1	0,009	0,009
3H Urea application	CO2	850	5,0	1,0	5,1	0,008	0,008
3I Other carbon-containing fertilizers	CO2	128	5,0	4,0	6,4	0,002	0,002
4A1 Forest land remaining forest land	CO2	-32 357	-	-	18		1,1
4A1 Forest land remaining forest land	CH4	602	-	-	100		0,1
4A1 Forest land remaining forest land	N2O	392	-	-	100		0,08
4A2 Land converted to forest land	CO2	-7 256	-	-	51		0,7
4A2 Land converted to forest land	N2O	51	-	-	100		0,010
4B1 Cropland remaining cropland	CO2	141	-	-	100		0,03
4B1 Cropland remaining cropland	CH4	71	-	-	100		0,01
4B1 Cropland remaining cropland	N2O	47	-	-	100		0,009
4B2 Land converted to cropland	CO2	20 999	-	-	41		1,7
4B2 Land converted to cropland	CH4	56	-	-	100		0,01
4B2 Land converted to cropland	N2O	1 506	-	-	100		0,3
4C1 Grassland remaining grassland	CO2	462	-	-	100		0,09
4C1 Grassland remaining grassland	CH4	108	-	-	100		0,02
4C1 Grassland remaining grassland	N2O	65	-	-	100		0,01
4C2 Land converted to grassland	CO2	-14 484	-	-	51		1,4
4C2 Land converted to grassland	CH4	39	-	-	100		0,008
4C2 Land converted to grassland	N2O	76	-	-	100		0,01
4D2 Land converted to wetlands	CO2	358	-	-	72		0,05
4D2 Land converted to wetlands	CH4	6,9	-	-	100		0,001
4D2 Land converted to wetlands	N2O	0,6	-	-	100		0,000
4E Settlements	CO2	9 092	-	-	32		0,6
4E Settlements	CH4	49	-	-	100		0,009
4E Settlements	N2O	592	-	-	100		0,1
4G Harvested Wood Products	CO2	-5 100	10	100	100		1,0
4H Other	CO2	0,000	5,0	30	30		0,000
4H Other	CH4	0,000	-	-	100		0,000
4H Other	N2O	498	-	-	100		0,10
5A Solid Waste Disposal on Land	CH4	12 563	15	175	176	4,1	4,2
5B Biological treatment of solid waste	CH4	245	15	100	101	0,05	0,05
5B Biological treatment of solid waste	N2O	49	15	100	101	0,009	0,010
5C Incineration and open burning of waste	CO2	2 194	15	20	25	0,1	0,1
5C Incineration and open burning of waste	CH4	20	30	50	58	0,002	0,002
5C Incineration and open burning of waste	N2O	150	15	30	34	0,009	0,010
5D Wastewater treatment and discharge	CH4	1 491	35	100	106	0,3	0,3
5D Wastewater treatment and discharge	N2O	571	35	100	106	0,1	0,1
Incertitude sur les émissions totales						9,6	10,4

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").

(**) 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, rés

Annexe 7

Résultats pour la France (métropole et territoires d’Outre-mer inclus dans l’UE) selon le périmètre et le format requis au titre du Protocole de Kyoto

Cette annexe contient la table « Summary 2 » au format requis au titre du Protocole de Kyoto (CRF) pour l’année 1990 (année de référence), l’année 2019 (année de comparaison avec l’édition précédente) et l’année 2020 (dernière année de l’exercice courant).

L’intégralité des tables CRF au titre du Protocole de Kyoto sont disponibles en format électronique sur le site de la CCNUCC :

<https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021>

Les résultats concernent la France selon le périmètre du Protocole de Kyoto, couverture géographique comprenant la Métropole et les territoires d’Outre-mer inclus dans l’UE.

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO₂ EQUIVALENT EMISSIONS
(Sheet 1 of 1)Inventory 1990
Submission 2022 v1
FRANCE (KP)

GREENHOUSE GAS SOURCE AND	CO ₂ ⁽¹⁾	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆	Unspecified mix of HFCs and PFCs	NF ₃	Total
SINK CATEGORIES	CO ₂ equivalent (kt)								
Total (net emissions)⁽¹⁾	370279,74	70093,52	67951,07	4402,20	5202,47	2154,74	NO,NA	16,48	520100,22
1. Energy	351435,06	12403,83	3432,64						367271,53
A. Fuel combustion (sectoral approach)	347073,53	5792,29	3406,27						356272,08
1. Energy industries	65823,14	66,21	448,40						66337,75
2. Manufacturing industries and construction	64590,71	96,84	477,33						65164,89
3. Transport	120340,58	976,90	975,31						122292,79
4. Other sectors	91854,84	4649,36	1470,07						97974,27
5. Other	4464,25	2,98	35,16						4502,39
B. Fugitive emissions from fuels	4361,54	6611,54	26,37						10999,45
1. Solid fuels	NO,NA	4810,24	NO,NE						4810,24
2. Oil and natural gas	4361,54	1801,30	26,37						6189,21
C. CO ₂ transport and storage	NO,IE								NO,IE
2. Industrial processes and product use	42901,86	220,33	23830,71	4402,20	5202,47	2154,74	NO,NA	16,48	78728,80
A. Mineral industry	14977,20								14977,20
B. Chemical industry	7539,92	78,03	23707,92	4373,66	1191,48	129,96	NO,NA	NO,NA	37020,97
C. Metal industry	17677,88	140,87	NO	NO,IE	3567,14	720,59	NO		22106,47
D. Non-energy products from fuels and solvent use	2047,82	1,44	1,43						2050,69
E. Electronic Industry				28,54	202,55	55,52	NO,NA	16,48	303,10
F. Product uses as ODS substitutes				NO,IE					NO,IE
G. Other product manufacture and use	659,00	NO	121,36	NO	241,29	1248,67			2270,32
H. Other	0,04	NO,NA	NO,NA						0,04
3. Agriculture	1893,65	42218,48	36690,82						80802,95
A. Enteric fermentation		38630,54							38630,54
B. Manure management		3460,51	2819,26						6279,77
C. Rice cultivation		58,24							58,24
D. Agricultural soils		NO	33850,17						33850,17
E. Prescribed burning of savannas		NO	NO						NO
F. Field burning of agricultural residues		69,20	21,38						90,58
G. Liming	915,32								915,32
H. Urea application	850,17								850,17
I. Other carbon-containing fertilizers	128,16								128,16
J. Other	NO	NO	NO						NO
4. Land use, land-use change and forestry⁽¹⁾	-28145,04	932,63	3226,22						-23986,19
A. Forest land	-39612,80	602,14	443,20						-38567,47
B. Cropland	21140,66	126,90	1552,31						22819,87
C. Grassland	-14022,40	147,58	140,12						-13734,70
D. Wetlands	358,14	6,89	0,56						365,59
E. Settlements	9091,58	49,12	591,83						9732,53
F. Other land	NO,NE	NO	NO,NE						NO,NE
G. Harvested wood products	-5100,21								-5100,21
H. Other	NO,NA	NO,NA	NA						NO,NA
5. Waste	2194,21	14318,24	770,67						17283,13
A. Solid waste disposal	NA	12562,65							12562,65
B. Biological treatment of solid waste		245,23	49,45						294,68
C. Incineration and open burning of waste	2194,21	19,65	149,98						2363,83
D. Waste water treatment and discharge		1490,72	571,24						2061,96
E. Other	NO	NO	NO						NO
6. Other (as specified in summary I.A)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Memo items:⁽²⁾									
International bunkers	16765,94	23,41	132,14						16921,49
Aviation	8804,73	4,32	71,41						8880,46
Navigation	7961,21	19,09	60,74						8041,04
Multilateral operations	0,67	NE	NE						0,67
CO₂ emissions from biomass	43980,02								43980,02
CO₂ captured	NO,NA								NO,NA
Long-term storage of C in waste disposal sites	NE								NE
Indirect N₂O			NO,NE						
Indirect CO₂⁽³⁾	NO,IE,NA								
Total CO₂ equivalent emissions without land use, land-use change and forestry									544086,41
Total CO₂ equivalent emissions with land use, land-use change and forestry									520100,22
Total CO₂ equivalent emissions, including indirect CO₂, without land use, land-use change and forestry									NA
Total CO₂ equivalent emissions, including indirect CO₂, with land use, land-use change and forestry									NA

(1) For carbon dioxide (CO₂) from land use, land-use change and forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for

(2) See footnote 7 to table Summary I.A.

(3) In accordance with the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines, for Parties that decide to report indirect CO₂, the national totals shall be provided with and without indirect CO₂.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO₂ EQUIVALENT EMISSIONS
(Sheet 1 of 1)Inventory 2019
Submission 2022 v1
FRANCE (KP)

GREENHOUSE GAS SOURCE AND	CO ₂ ⁽¹⁾	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆	Unspecified mix of HFCs and PFCs	NF ₃	Total
SINK CATEGORIES	CO₂ equivalent (kt)								
Total (net emissions)⁽¹⁾	310432,09	56877,21	40938,80	12992,42	615,40	385,40	NO,NA	10,29	422251,61
1. Energy	291378,65	2397,89	3536,67						297313,21
A. Fuel combustion (sectoral approach)	288790,79	1390,29	3524,30						293705,37
1. Energy industries	41359,39	49,26	270,93						41679,58
2. Manufacturing industries and construction	43802,47	98,71	522,40						44423,58
3. Transport	130180,48	165,58	1379,43						131725,49
4. Other sectors	71839,96	1074,58	1342,57						74257,11
5. Other	1608,48	2,16	8,97						1619,61
B. Fugitive emissions from fuels	2587,86	1007,60	12,37						3607,84
1. Solid fuels	NO,NA	14,59	NO,NE						14,59
2. Oil and natural gas	2587,86	993,01	12,37						3593,25
C. CO ₂ transport and storage	NO,IE								NO,IE
2. Industrial processes and product use	31576,25	66,29	917,59	12992,42	615,40	385,40	NO,NA	10,29	46563,64
A. Mineral industry	10060,93								10060,93
B. Chemical industry	6722,75	34,03	781,86	127,77	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	7666,42
C. Metal industry	13332,25	31,96	NO	NO,IE	67,16	30,55	NO		13461,92
D. Non-energy products from fuels and solvent use	1009,32	0,29	2,48						1012,09
E. Electronic Industry				6,67	81,02	3,43	NO,NA	10,29	101,40
F. Product uses as ODS substitutes				12857,36					12857,36
G. Other product manufacture and use	450,93	NO	133,25	0,62	467,23	351,41			1403,45
H. Other	0,06	NO,NA	NO,NA						0,06
3. Agriculture	2032,25	37445,25	33020,19						72497,69
A. Enteric fermentation		33643,71							33643,71
B. Manure management		3731,06	2391,10						6122,16
C. Rice cultivation		39,01							39,01
D. Agricultural soils		NO	30619,36						30619,36
E. Prescribed burning of savannas		NO	NO						NO
F. Field burning of agricultural residues		31,47	9,73						41,19
G. Liming	668,64								668,64
H. Urea application	1211,16								1211,16
I. Other carbon-containing fertilizers	152,44								152,44
J. Other	NO	NO	NO						NO
4. Land use, land-use change and forestry⁽¹⁾	-16293,04	1137,52	2867,36						-12288,16
A. Forest land	-30069,05	609,73	375,43						-29083,89
B. Cropland	11736,41	111,41	1345,24						13193,06
C. Grassland	-8492,60	130,65	105,30						-8256,66
D. Wetlands	494,98	8,92	0,73						504,64
E. Settlements	10759,41	58,41	594,02						11411,83
F. Other land	NO,NE	NO	NO,NE						NO,NE
G. Harvested wood products	-767,85								-767,85
H. Other	45,66	218,40	NA						264,06
5. Waste	1737,99	15830,26	596,99						18165,24
A. Solid waste disposal	NA	12372,26							12372,26
B. Biological treatment of solid waste		1114,57	214,17						1328,75
C. Incineration and open burning of waste	1737,99	37,04	63,14						1838,17
D. Waste water treatment and discharge		2306,39	319,67						2626,06
E. Other	NO	NO	NO						NO
6. Other (as specified in summary I.A)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Memo items:⁽²⁾									
International bunkers	24579,81	14,89	196,75						24791,45
Aviation	19046,09	1,59	154,46						19202,15
Navigation	5533,71	13,29	42,29						5589,30
Multilateral operations	1,13	NE	NE						1,13
CO₂ emissions from biomass	62869,92								62869,92
CO₂ captured	NO,NA								NO,NA
Long-term storage of C in waste disposal sites	NE								NE
Indirect N₂O			NO,NE						
Indirect CO₂⁽³⁾	NO,IE,NA								
Total CO₂ equivalent emissions without land use, land-use change and forestry									434539,77
Total CO₂ equivalent emissions with land use, land-use change and forestry									422251,61
Total CO₂ equivalent emissions, including indirect CO₂, without land use, land-use change and forestry									NA
Total CO₂ equivalent emissions, including indirect CO₂, with land use, land-use change and forestry									NA

⁽¹⁾ For carbon dioxide (CO₂) from land use, land-use change and forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for⁽²⁾ See footnote 7 to table Summary I.A.⁽³⁾ In accordance with the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines, for Parties that decide to report indirect CO₂, the national totals shall be provided with and without indirect CO₂.

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO₂ EQUIVALENT EMISSIONS
(Sheet 1 of 1)Inventory 2020
Submission 2022 v1
FRANCE (KP)

GREENHOUSE GAS SOURCE AND	CO ₂ ⁽¹⁾	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆	Unspecified mix of HFCs and PFCs	NF ₃	Total
SINK CATEGORIES	CO ₂ equivalent (kt)								
Total (net emissions)⁽¹⁾	271428,23	55747,40	39147,49	11735,32	543,49	346,60	NO,NA	8,54	378957,08
1. Energy	259171,93	2127,58	3430,11						264729,61
A. Fuel combustion (sectoral approach)	256968,82	1276,37	3279,09						261524,28
1. Energy industries	36821,76	45,11	248,42						37115,28
2. Manufacturing industries and construction	41588,56	95,64	502,47						42186,67
3. Transport	108179,03	143,25	1147,00						109469,28
4. Other sectors	68903,09	990,36	1373,08						71266,53
5. Other	1476,39	2,02	8,13						1486,53
B. Fugitive emissions from fuels	2203,10	851,21	151,02						3205,33
1. Solid fuels	NO,NA	25,56	NO,NE						25,56
2. Oil and natural gas	2203,10	825,65	151,02						3179,77
C. CO ₂ transport and storage	NO,IE								NO,IE
2. Industrial processes and product use	26755,88	57,12	741,71	11735,32	543,49	346,60	NO,NA	8,54	40188,67
A. Mineral industry	9082,96								9082,96
B. Chemical industry	6282,91	31,24	606,27	94,45	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	7014,86
C. Metal industry	9862,56	25,64	NO	NO,IE	61,33	7,66	NO		9957,18
D. Non-energy products from fuels and solvent use	1067,63	0,24	2,01						1069,88
E. Electronic Industry				6,62	77,41	4,08	NO,NA	8,54	96,65
F. Product uses as ODS substitutes				11633,67					11633,67
G. Other product manufacture and use	459,72	NO	133,43	0,59	404,76	334,86			1333,36
H. Other	0,10	NO,NA	NO,NA						0,10
3. Agriculture	1858,83	36998,76	31528,56						70386,15
A. Enteric fermentation		33136,51							33136,51
B. Manure management		3795,76	2350,47						6146,24
C. Rice cultivation		38,23							38,23
D. Agricultural soils		NO	29169,35						29169,35
E. Prescribed burning of savannas		NO	NO						NO
F. Field burning of agricultural residues		28,26	8,73						36,99
G. Liming	640,81								640,81
H. Urea application	1036,18								1036,18
I. Other carbon-containing fertilizers	181,84								181,84
J. Other	NO	NO	NO						NO
4. Land use, land-use change and forestry⁽¹⁾	-17961,34	1105,69	2850,17						-14005,48
A. Forest land	-31389,29	586,83	364,33						-30438,12
B. Cropland	11507,10	109,50	1346,42						12963,02
C. Grassland	-8543,35	123,86	99,88						-8319,62
D. Wetlands	494,83	8,92	0,73						504,48
E. Settlements	10743,98	58,41	592,19						11394,58
F. Other land	NO,NE	NO	NO,NE						NO,NE
G. Harvested wood products	-814,43								-814,43
H. Other	39,82	218,17	NA						257,99
5. Waste	1602,93	15458,25	596,95						17658,14
A. Solid waste disposal	NA	11964,89							11964,89
B. Biological treatment of solid waste		1125,28	215,09						1340,37
C. Incineration and open burning of waste	1602,93	37,98	62,83						1703,74
D. Waste water treatment and discharge		2330,11	319,03						2649,14
E. Other	NO	NO	NO						NO
6. Other (as specified in summary I.A)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Memo items:⁽²⁾									
International bunkers	11173,11	8,20	89,15						11270,46
Aviation	8045,68	0,70	65,25						8111,63
Navigation	3127,43	7,51	23,90						3158,84
Multilateral operations	1,42	NE	NE						1,42
CO₂ emissions from biomass	59126,82								59126,82
CO₂ captured	NO,NA								NO,NA
Long-term storage of C in waste disposal sites	NE								NE
Indirect N₂O			NO,NE						
Indirect CO₂⁽³⁾	NO,IE,NA								
Total CO₂ equivalent emissions without land use, land-use change and forestry									392962,57
Total CO₂ equivalent emissions with land use, land-use change and forestry									378957,08
Total CO₂ equivalent emissions, including indirect CO₂, without land use, land-use change and forestry									NA
Total CO₂ equivalent emissions, including indirect CO₂, with land use, land-use change and forestry									NA

(1) For carbon dioxide (CO₂) from land use, land-use change and forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for

(2) See footnote 7 to table Summary I.A.

(3) In accordance with the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines, for Parties that decide to report indirect CO₂, the national totals shall be provided with and without indirect CO₂.

Annexe 8

Résultats pour la France (métropole et territoires d’Outre-mer) selon le périmètre et le format au titre de la CCNUCC

Cette annexe contient la table « Summary 2 » au format requis par la CCNUCC (CRF) pour l’année 1990 (année de référence), l’année 2019 (année de comparaison avec l’édition précédente) et l’année 2020 (dernière année de l’exercice courant).

L’intégralité des tables CRF au titre de la Convention sont disponibles en format électronique à l’adresse suivante : <http://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/ccnucc>

<https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021>

Les résultats concernent la France au sens d’une couverture géographique comprenant la Métropole et les territoires d’Outre-mer inclus dans l’UE et hors UE.

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO₂ EQUIVALENT EMISSIONS
(Sheet 1 of 1)Inventory 1990
Submission 2022 v1
FRANCE

GREENHOUSE GAS SOURCE AND	CO ₂ ⁽¹⁾	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆	Unspecified mix of HFCs and PFCs	NF ₃	Total
SINK CATEGORIES	CO ₂ equivalent (kt)								
Total (net emissions)⁽⁴⁾	372904,81	70557,22	68151,77	4402,20	5202,47	2158,09	NO,NA	16,48	523393,04
1. Energy	353742,26	12412,16	3445,55						369599,97
A. Fuel combustion (sectoral approach)	349380,73	5800,62	3419,18						358600,52
1. Energy industries	66065,07	66,52	450,04						66581,64
2. Manufacturing industries and construction	65499,50	97,97	479,77						66077,25
3. Transport	121379,34	983,49	983,38						123346,20
4. Other sectors	91972,56	4649,66	1470,82						98093,05
5. Other	4464,25	2,98	35,16						4502,39
B. Fugitive emissions from fuels	4361,54	6611,54	26,37						10999,45
1. Solid fuels	NO,NA	4810,24	NO,NE						4810,24
2. Oil and natural gas	4361,54	1801,30	26,37						6189,21
C. CO ₂ transport and storage	NO								NO
2. Industrial processes and product use	43134,51	220,34	23831,53	4402,20	5202,47	2158,09	NO,NA	16,48	78965,62
A. Mineral industry	14977,20								14977,20
B. Chemical industry	7539,92	78,03	23707,92	4373,66	1191,48	129,96	NO,NA	NO,NA	37020,97
C. Metal industry	17904,64	140,87	NO	NO,IE	3567,14	720,59	NO		22333,23
D. Non-energy products from fuels and solvent use	2051,75	1,45	1,44						2054,64
E. Electronic industry				28,54	202,55	55,52	NO,NA	16,48	303,10
F. Product uses as ODS substitutes				NO,IE					NO,IE
G. Other product manufacture and use	660,95	NO	122,17	NO	241,29	1252,02			2276,43
H. Other	0,04	NO,NA	NO,NA						0,04
3. Agriculture	1893,65	42476,25	36825,51						81195,41
A. Enteric fermentation		38831,10							38831,10
B. Manure management		3517,72	2840,22						6357,94
C. Rice cultivation		58,24							58,24
D. Agricultural soils		NO	33963,90						33963,90
E. Prescribed burning of savannas		NO	NO						NO
F. Field burning of agricultural residues		69,20	21,38						90,58
G. Liming	915,32								915,32
H. Urea application	850,17								850,17
I. Other carbon-containing fertilizers	128,16								128,16
J. Other	NO	NO	NO						NO
4. Land use, land-use change and forestry⁽¹⁾	-28059,82	997,24	3272,39						-23790,19
A. Forest land	-38756,12	666,76	489,36						-37600,00
B. Cropland	21140,66	126,90	1552,31						22819,87
C. Grassland	-14793,87	147,58	140,12						-14506,17
D. Wetlands	358,14	6,89	0,56						365,59
E. Settlements	9091,58	49,12	591,83						9732,53
F. Other land	NO,NE	NO	NO,NE						NO,NE
G. Harvested wood products	-5100,21								-5100,21
H. Other	NO,NA	NO,NA	NA						NO,NA
5. Waste	2194,21	14451,23	776,79						17422,22
A. Solid waste disposal	NA	12648,29							12648,29
B. Biological treatment of solid waste		245,23	49,45						294,68
C. Incineration and open burning of waste	2194,21	19,65	149,98						2363,83
D. Waste water treatment and discharge		1538,07	577,36						2115,42
E. Other	NO	NO	NO						NO
6. Other (as specified in summary 1.A)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Memo items:⁽²⁾									
International bunkers	17172,58	23,71	135,38						17331,67
Aviation	9112,06	4,38	73,90						9190,34
Navigation	8060,52	19,33	61,48						8141,32
Multilateral operations	0,67	NE	NE						0,67
CO ₂ emissions from biomass	43984,43								43984,43
CO ₂ captured	NO,NA								NO,NA
Long-term storage of C in waste disposal sites	NE								NE
Indirect N ₂ O			NO,NE						
Indirect CO ₂ ⁽³⁾	NO,IE,NA								
Total CO₂ equivalent emissions without land use, land-use change and forestry									547183,23
Total CO₂ equivalent emissions with land use, land-use change and forestry									523393,04
Total CO₂ equivalent emissions, including indirect CO₂, without land use, land-use change and forestry									NA
Total CO₂ equivalent emissions, including indirect CO₂, with land use, land-use change and forestry									NA

(1) For carbon dioxide (CO₂) from land use, land-use change and forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions

(2) See footnote 7 to table Summary 1.A.

(3) In accordance with the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines, for Parties that decide to report indirect CO₂, the national totals shall be provided with and without indirect CO₂.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO₂ EQUIVALENT EMISSIONS

(Sheet 1 of 1)

Inventory 2019

Submission 2022 v1

FRANCE

GREENHOUSE GAS SOURCE AND	CO ₂ ⁽¹⁾	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆	Unspecified mix of HFCs and PFCs	NF ₃	Total
SINK CATEGORIES	CO ₂ equivalent (kt)								
Total (net emissions)⁽¹⁾	318578,65	57527,87	41196,25	13075,84	615,40	386,47	NO,NA	10,29	431390,77
1. Energy	297609,79	2409,12	3568,84						303587,74
A. Fuel combustion (sectoral approach)	295021,93	1401,51	3556,46						299979,90
1. Energy industries	42070,08	50,19	275,16						42395,43
2. Manufacturing industries and construction	47991,84	106,79	537,85						48636,48
3. Transport	131402,34	167,56	1390,43						132960,33
4. Other sectors	71949,18	1074,82	1344,05						74368,05
5. Other	1608,48	2,16	8,97						1619,61
B. Fugitive emissions from fuels	2587,86	1007,60	12,37						3607,84
1. Solid fuels	NO,NA	14,59	NO,NE						14,59
2. Oil and natural gas	2587,86	993,01	12,37						3593,25
C. CO ₂ transport and storage	NO,NA								NO,NA
2. Industrial processes and product use	31582,13	66,29	918,76	13075,84	615,40	386,47	NO,NA	10,29	46655,18
A. Mineral industry	10060,93								10060,93
B. Chemical industry	6722,75	34,03	781,86	127,77	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	7666,42
C. Metal industry	13332,25	31,96	NO	NO,IE	67,16	30,55	NO		13461,92
D. Non-energy products from fuels and solvent use	1012,61	0,29	2,50						1015,41
E. Electronic Industry				6,67	81,02	3,43	NO,NA	10,29	101,40
F. Product uses as ODS substitutes				12940,78					12940,78
G. Other product manufacture and use	453,52	NO	134,40	0,62	467,23	352,49			1408,26
H. Other	0,06	NO,NA	NO,NA						0,06
3. Agriculture	2032,25	37621,45	33116,81						72770,51
A. Enteric fermentation		33773,90							33773,90
B. Manure management		3777,08	2405,56						6182,63
C. Rice cultivation		39,01							39,01
D. Agricultural soils		NO	30701,53						30701,53
E. Prescribed burning of savannas		NO	NO						NO
F. Field burning of agricultural residues		31,47	9,73						41,19
G. Liming	668,64								668,64
H. Urea application	1211,16								1211,16
I. Other carbon-containing fertilizers	152,44								152,44
J. Other	NO	NO	NO						NO
4. Land use, land-use change and forestry⁽¹⁾	-14383,50	1301,64	2984,62						-10097,24
A. Forest land	-27373,39	773,85	492,69						-26106,85
B. Cropland	11736,41	111,41	1345,24						13193,06
C. Grassland	-9278,73	130,65	105,30						-9042,78
D. Wetlands	494,98	8,92	0,73						504,64
E. Settlements	10759,41	58,41	594,02						11411,83
F. Other land	NO,NE	NO	NO,NE						NO,NE
G. Harvested wood products	-767,85								-767,85
H. Other	45,66	218,40	NA						264,06
5. Waste	1737,99	16129,37	607,23						18474,58
A. Solid waste disposal	NA	12612,18							12612,18
B. Biological treatment of solid waste		1116,44	214,63						1331,07
C. Incineration and open burning of waste	1737,99	37,04	63,14						1838,17
D. Waste water treatment and discharge		2363,70	329,46						2693,16
E. Other	NO	NO	NO						NO
6. Other (as specified in summary 1.A)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Memo items:⁽²⁾									
International bunkers	24999,04	15,20	200,09						25214,34
Aviation	19339,05	1,61	156,84						19497,49
Navigation	5659,99	13,60	43,26						5716,85
Multilateral operations	1,13	NE	NE						1,13
CO₂ emissions from biomass	62876,72								62876,72
CO₂ captured	NO,NA								NO,NA
Long-term storage of C in waste disposal sites	NE								NE
Indirect N₂O			NO,NE						
Indirect CO₂⁽³⁾	NO,IE,NA								
Total CO₂ equivalent emissions without land use, land-use change and forestry									441488,01
Total CO₂ equivalent emissions with land use, land-use change and forestry									431390,77
Total CO₂ equivalent emissions, including indirect CO₂, without land use, land-use change and forestry									NA
Total CO₂ equivalent emissions, including indirect CO₂, with land use, land-use change and forestry									NA

⁽¹⁾ For carbon dioxide (CO₂) from land use, land-use change and forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions⁽²⁾ See footnote 7 to table Summary 1.A.⁽³⁾ In accordance with the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines, for Parties that decide to report indirect CO₂ the national totals shall be provided with and without indirect CO₂.

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO₂ EQUIVALENT EMISSIONS
(Sheet 1 of 1)Inventory 2020
Submission 2022 v1
FRANCE

GREENHOUSE GAS SOURCE AND	CO ₂ ⁽¹⁾	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆	Unspecified mix of HFCs and PFCs	NF ₃	Total
SINK CATEGORIES	CO ₂ equivalent (kt)								
Total (net emissions)⁽⁴⁾	276517.49	56252.96	39298.64	11822.65	543.49	347.77	NO,NA	8.54	384791.52
1. Energy	264912.62	2137.89	3460.04						270510.55
A. Fuel combustion (sectoral approach)	262709.51	1286.68	3309.02						267305.22
1. Energy industries	37537.83	46.05	252.68						37836.56
2. Manufacturing industries and construction	45369.28	102.97	516.48						45988.73
3. Transport	109312.02	145.05	1156.99						110614.06
4. Other sectors	69013.99	990.60	1374.75						71379.34
5. Other	1476.39	2.02	8.13						1486.53
B. Fugitive emissions from fuels	2203.10	851.21	151.02						3205.33
1. Solid fuels	NO,NA	25.56	NO,NE						25.56
2. Oil and natural gas	2203.10	825.65	151.02						3179.77
C. CO ₂ transport and storage	NO,NA								NO,NA
2. Industrial processes and product use	26762.04	57.12	742.88	11822.65	543.49	347.77	NO,NA	8.54	40284.48
A. Mineral industry	9082.96								9082.96
B. Chemical industry	6282.91	31.24	606.27	94.45	NO,NA	NO,NA	NO,NA	NO,NA	7014.86
C. Metal industry	9862.56	25.64	NO	NO,IE	61.33	7.66	NO		9957.18
D. Non-energy products from fuels and solvent use	1071.19	0.24	2.03						1073.46
E. Electronic industry				6.62	77.41	4.08	NO,NA	8.54	96.65
F. Product uses as ODS substitutes				11720.99					11720.99
G. Other product manufacture and use	462.31	NO	134.58	0.59	404.76	336.02			1338.27
H. Other	0.10	NO,NA	NO,NA						0.10
3. Agriculture	1858.83	37165.76	31621.31						70645.91
A. Enteric fermentation		33258.60							33258.60
B. Manure management		3840.68	2364.21						6204.89
C. Rice cultivation		38.23							38.23
D. Agricultural soils		NO	29248.37						29248.37
E. Prescribed burning of savannas		NO	NO						NO
F. Field burning of agricultural residues		28.26	8.73						36.99
G. Liming	640.81								640.81
H. Urea application	1036.18								1036.18
I. Other carbon-containing fertilizers	181.84								181.84
J. Other	NO	NO	NO						NO
4. Land use, land-use change and forestry⁽¹⁾	-18618.93	1130.14	2867.64						-14621.14
A. Forest land	-31276.74	611.29	381.80						-30283.65
B. Cropland	11507.10	109.50	1346.42						12963.02
C. Grassland	-9313.49	123.86	99.88						-9089.76
D. Wetlands	494.83	8.92	0.73						504.48
E. Settlements	10743.98	58.41	592.19						11394.58
F. Other land	NO,NE	NO	NO,NE						NO,NE
G. Harvested wood products	-814.43								-814.43
H. Other	39.82	218.17	NA						257.99
5. Waste	1602.93	15762.03	606.76						17971.72
A. Solid waste disposal	NA	12212.19							12212.19
B. Biological treatment of solid waste		1125.28	215.09						1340.37
C. Incineration and open burning of waste	1602.93	37.98	62.83						1703.74
D. Waste water treatment and discharge		2386.59	328.84						2715.42
E. Other	NO	NO	NO						NO
6. Other (as specified in summary 1.A)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Memo items:⁽²⁾									
International bunkers	11437.54	8.51	91.23						11537.28
Aviation	8183.82	0.70	66.37						8250.89
Navigation	3253.71	7.81	24.86						3286.39
Multilateral operations	1.42	NE	NE						1.42
CO₂ emissions from biomass	59133.68								59133.68
CO₂ captured	NO,NA								NO,NA
Long-term storage of C in waste disposal sites	NE								NE
Indirect N₂O			NO,NE						
Indirect CO₂⁽³⁾	NO,IE,NA								
Total CO₂ equivalent emissions without land use, land-use change and forestry									399412.67
Total CO₂ equivalent emissions with land use, land-use change and forestry									384791.52
Total CO₂ equivalent emissions, including indirect CO₂, without land use, land-use change and forestry									NA
Total CO₂ equivalent emissions, including indirect CO₂, with land use, land-use change and forestry									NA

⁽¹⁾ For carbon dioxide (CO₂) from land use, land-use change and forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions⁽²⁾ See footnote 7 to table Summary 1.A.⁽³⁾ In accordance with the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines, for Parties that decide to report indirect CO₂, the national totals shall be provided with and without indirect CO₂.

Annexe 9

Prise en compte des revues de la CCNUCC

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Sector	CRF category / issue	Finding	Review recommendation	Review report/paragraph	MS response / status of implementation	Chapter / section in the NIR
Status of implementation of recommendations included in the previous review report for France						
General	National registry (G.3, 2019), (G.10, 2017) (G.22, 2016) (G.22, 2015) Comparability	Establish a PPSR as soon as technically possible, which the ERT assumes will be prior to the 2017 annual submission.	The Party has not yet established a previous period reserve and intends to comply with the European Union commitment rules in establishing it. During the review, the Party reiterated that the PPSR account will only become applicable after the Doha Amendment to the Kyoto Protocol enters into force. The ERT notes that the Doha Amendment has entered into force on 31 December 2020.	2021 Review PMF* / G.1	Still ongoing issue.	
General	Uncertainty analysis (G.6, 2019), (G.7, 2017) (G.18, 2016) (G.18, 2015) Transparency	Transparently report the information and assumptions used when defining the uncertainty of AD and EFs in line with the 2006 IPCC Guidelines (vol. 1, chapter 3.5).	The Party improved the uncertainty information on the sectoral parts of the NIR, particularly for the LULUCF sector but for some sectors as IPPU the information is still limited. During the review, the Party clarified that the transparency of uncertainty assessments has been improved in the NIR by adding more details on references for uncertainties used in the sectoral sections relating to uncertainty and time series consistency. Still more detailed information would be needed in case of "expert judgement" reference. The ERT considers that, indeed, more detailed information would be needed in case of expert judgement reference.	2021 Review PMF* / G.3	Improvements still ongoing	
General	EFs (G.9, 2019) Transparency	(1) Add references to the OMINEA database spreadsheet for those EFs used in the GHG inventory – a cross reference to the Citepa PDF file would be sufficient where the PDF has a clear reference to the source of the EF; (2) either apply units commonly used for reporting under the UNFCCC, consistent with the 2006 IPCC Guidelines (e.g. kg/t, t/t), in the spreadsheet, or include any conversion factors applied; and (3) ensure that its archiving system includes the two above-mentioned Citepa website files associated with each annual NIR.	During the review, the Party clarified that access to previous submission archiving is now implemented in the Citepa Web site. The ERT acknowledges that the information can now be accessed. The Party also informed with respect to references in the OMINEA database or link to them that it is natural to start reading the NIR and then to search for more detailed numerical data in the OMINEA database, and that the link with the NIR and reference to it, in the database, is already existing using the column "CRF" which enables to find the related part of the NIR including the background sources of reference of EF, and vice-versa. The Party also added that, by principle, the OMINEA database aims to report data in the original calculation unit and as there are more than 30 000 lines in the database, it would be useful to have more specific request of such need of unit conversion. The ERT identified that it is still difficult to follow the external references provided by the Party and in particular the OMINEA file and that in some cases the data in the OMINEA file do not correspond to the data in the CRF tables. The ERT considers that in order that the OMINEA database could be considered as part of the Party submission contributing for the enhancing of the transparency, cross-reference between the NIR and the OMINEA database needs to be further improved. Where units in the OMINEA database are different from the commonly units used in the 2006 IPCC guidelines the converted data should be included in the NIR.	2021 Review PMF* / G.6	Improvements still ongoing	
Energy	International bunkers and multilateral operations – liquid fuels (E.5, 2019) (E.8, 2017) (E.24, 2016) (E.24, 2015)	Explain in the NIR the discrepancies between the sectoral and the reference approaches for international aviation (jet kerosene) and international navigation (residual fuel oil and gas/diesel oil) reported in the CRF tables.	The Party reported in its NIR (p.135-137) many reasons for that difference and informed that those reasons identified are not sufficient to explain the discrepancies. The ERT welcome the continuing effort made by France to clarify the discrepancy and reiterates the recommendation from the previous review report	2021 Review PMF* / E.2	Efforts and discussion are still ongoing with the French service of statistics in charge of the energy balances for the AIE questionnaire in order to improve the comparability of the sectoral and reference approaches.	
Energy	Fuel combustion – reference approach – solid and other fossil fuels – CO2 (E.6, 2019), (E.7, 2017) (E.22, 2016) (E.22, 2015) Transparency	(a) Subtract the non-energy use of the fuels in the reference approach to have a consistent comparison with the sectoral approach; and (b) Properly identify and allocate the emissions from the industrial gases by origin from the primary fuels, in line with the 2006 IPCC Guidelines and avoiding double accounting, and provide relevant explanations in the NIR.	The Party reported in its NIR (p.131-135) the actions taken to improve consistency between the reference and sectoral approach. The non-energy use of fuels has been subtracted from the reference approach and the emissions re-allocated as recommended by the IPCC Guidelines. A significant part of the remaining discrepancies, as stated by the Party, could be explained by statistical differences. During the review, the ERT asked for clarification on the nature of the statistical differences and the Party clarified that it comes from the national energy balances and are defined in the AIE questionnaire as the differences between the calculated gross inland deliveries (calculated through the productions, imports, exports, bunkers, etc.) and the observed ones (where the consumptions are distributed among the different uses and sectors) The ERT welcome the continuing effort made by France to clarify the differences between reference and sectoral approaches and reiterates the recommendation from the previous review report.	2021 Review PMF* / E.3	Implemented. For other fossil fuels (see 2021 Review PMF* / E.4), the discrepancies between the reference and sectoral approaches for both emissions and activity data have been decreased significantly and are all below 1%. A table showing the discrepancies for other solid fuels specifically has been provided in the NIR 2022 March submission for other fossil fuels. For solid fuels, most of the discrepancies can be explained by	Chapter 3.2.1 (CRF 1)
Energy	Fuel combustion – reference approach – other fossil fuels – CO2 (E.7, 2019), (E.24, 2017) Transparency	Provide in the NIR information on the difference between the sectoral and reference approaches, that is, that the reference approach uses default EFs from the 2006 IPCC Guidelines whereas the sectoral approach uses country- or plant- specific EFs.	The Party reported in its NIR (p.135) some of the reasons for the difference between the two approaches for other fossil fuels and stated that since there are differences higher than 2 per cent, it will continue to analyse the issue and the overall explanation will be provided in the next submission. The ERT welcome the continuing effort made by France to reduce the differences between the reference and sectoral approach and reiterates the recommendation from the previous review report.	2021 Review PMF* / E.4	Implemented. For other fossil fuels, an additional analysis has enabled to reduce further the discrepancies between the reference and the sectoral approaches for the submission of 2022. Now, the differences for the	Chapter 3.2.1 (CRF 1)
Energy	1.A.4 Other sectors – solid, liquid and gaseous fuels – CO2, CH4 and N2O (E.11, 2019), (E.26, 2017) Transparency	Include in the NIR the reason the AD used to estimate emissions from military activities are not separately provided, and indicate where the emissions from military activities are included in the submission or provide estimates for these emissions.	During the 2019 review the Party clarified that GHG emissions from military activities were included under category 1.A.4.a (commercial/institutional), because of confidential reasons. The Party also stated that a new chapter for category 1.A.5.b (mobile (other)) would be included in the NIR to explain where emissions from military activities are included. The Party reported in its NIR (p.256) one line explanation "Par souci de confidentialité, toutes les consommations et émissions du 1ASb sont incluses dans le 1ASa." The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet included in the NIR the two sections 1ASa and 1ASb with a transparent explanation on the allocation of the emissions from military activities. The ERT also recommends that the correspondent explanation for the key "IE" in table 9 is completed.	2021 Review PMF* / E.5	Implemented. This issue is taken into account in the submission by 15th March 2022. The correspondent explanation for the key "IE" in table 9 has been completed.	Chapter 3.2.8
Energy	1.A.5.b Mobile (other) – solid, liquid and gaseous fuels – CO2 and CH4 (E.12, 2019), (E.27, 2017) Comparability	Correct the notation key for emissions to "IE".	The Party reported in its CRF table 9 the notation key "IE" however the corresponded explanation in the last column was missing. During the review, the Party clarified that the missing explanations for CO2, CH4 and N2O EF related to 1ASb should be "because of confidential issue with mobile military fuel consumptions, this AD and emissions are included elsewhere in 1ASa (instead of 1ASb) together with other stationary source". The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet included this explanation in CRF table 9.	2021 Review PMF* / E.6	Implemented. The explanation is included in the 2022 edition of the CRF Tables.	
Energy	Fuel combustion – reference approach – liquid, solid, gaseous and other fossil fuels – CO2 (E.15, 2019) Transparency	Report in the NIR the reasons for any differences greater than 2 per cent between the reference and sectoral approaches for liquid, solid, gaseous and other fossil fuels, focusing on 2011 onward.	The Party provided in its 2021 NIR (p. 131-135) additional information to explain the highest discrepancies between the reference and sectoral approaches, for each type of fuel. It has also presented two tables comparing consumption and CO2 emission using the reference and the sectoral approaches for solid fuels (Table 36) and gaseous fuels (table 37), which enhances transparency. During the review, the Party clarified that it is preparing similar tables for liquid fuels and for other fossil fuels could be more complex than for solid fuels or natural gas because they encompass a wider diversity of fuel types. The ERT acknowledge the development of a new methodology to minimize the differences between sectoral and reference approach and reiterates the recommendation from the previous review report for liquid fuels and other fossil fuels.	2021 Review PMF* / E.7	Implemented. For the NIR March 2022 submission, the specific analyses of the discrepancies between sectoral and reference approaches for liquid and other fossil fuels have been added.	Chapter 3.2.1 (CRF 1)
Energy	Feedstocks, reductants and other non-energy use of fuels – solid fuels – CO2 (E.16, 2019) Comparability	Disaggregate the consumption of the non-energy use of solid fuels (coking coal and coke oven coke) used for non-energy use and correctly allocate the consumption of the different fuel types in CRF table 1.A(d).	The Party reported in its NIR (p.138) how non-energy fuels are disaggregated and allocated in CRF table 1.A(d). All the coking coal is considered under energy uses. The notation key "IE" was used correctly in table 1.A(d), but the correspondent information was not included in table 9. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet included the information on notation key "IE" in CRF table 9	2021 Review PMF* / E.8	Implemented. In the 2022 CRF table submission of March, the coking coal non-energy use notation key has been correctly annotated as NO as all consumption is considered for energy use, and the corresponding notation key "IE" in	CRF Tables 1A(d)
Energy	1.A Fuel combustion – sectoral approach – liquid fuels – CO2 (E.19, 2019) Transparency	update NIR table 38 with the EFs for diesel oil and domestic heating oil used in the emission calculations and include the relevant references from NIR table 38 in the reference list of the NIR. In addition, the ERT encourages France to review the OMINEA database to ensure that the information it contains corresponds with that in the NIR (after the update).	The Party reported in its NIR (p.144-145) the methodology used to calculate CO2 EF for diesel, and it applied the same EF for domestic heating oil. The resulting value of 74,52 kg CO2/GJ was not included in Table 40, which resumes all EFs. During the review, the Party clarified that the EF for diesel can be used for domestic heating oil because they are similar and have the same carbon content. The Party informed also that it will include the EF value for diesel and domestic heating oil in Table 40 in the next submission. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet included the EF value of 74,52 kg CO2/GJ for diesel and domestic heating oil in Table 40 as well as the explanation why EF for diesel is applicable for domestic heating oil.	2021 Review PMF* / E.10	Implemented. For the March 2022 submission, the table 40 has been corrected according to the review recommendation and an explanation of why the same EF for diesel and domestic heating oil can be applied is included above the table, in Chapter 3.2.3.2.	Chapter 3.2.3.2 (CRF 1)

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Energy	1.A.4.b Residential – all fuels – CO2 (E.27, 2019) Transparency	Provide in the NIR the values for and references to the sources of the EFs for each fuel type consumed in category 1.A.4.b (residential), and specify if they are default EFs from the 2006 IPCC Guidelines or country-specific EFs.	The precise reference to table 40 and NIR p.143 is not in the 1.A.4.b session. In the NIR p.251 the reference is “Section générale énergie”. This is another transparency issue. During the review, the Party clarified that the EFs of 1.A.4.b (residential) are reported in its NIR (p.143), in the generic section on Energy, on table 40.	2021 Review PMF* / E.18	Implemented. The reference to the table 40 has been added for 1.A.4.b Residential EFs.	
Energy	1.C.2 Injection and storage – gaseous fuels – CO2 (E.29, 2019) Comparability	Report the notation key “IE” for CO2 emissions from injection for the years in which injection was occurring but emissions were reported under category 1.A.2.b (natural gas) (i.e. from 2010 to 2013) and the notation key “NO” for the years in which injection was not occurring. The ERT also recommends that the Party report “NA” for CO2 emissions from storage for the	During the review, the Party clarified that the data exchanges between the French national inventory and the CRF Reporter system does not support different notation keys in the same time series. This is the reason why “IE” is reported for the entire time series. The detailed explanation on the plant operation and correct notation keys are reported in the documentation box in CRF 1.C. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed and reiterates the recommendation from the previous review report.	2021 Review PMF* / E.20	Implemented. Corrected NKs depending of the years are submitted in the March 15th 2022 submission.	
IPPU	2. General (IPPU) (I.2, 2019), (I.2, 2017) (I.17, 2016) (I.17, 2015) Transparency	If different data sources and methodologies/tiers are used for different periods (e.g. production of lime, ammonia, nitric acid, and iron and steel), provide explanations for such inter-annual changes, where applicable, including information on how the consistency of the time series is	The Party reported in its NIR chapter 4 (CRF2) for all key categories, and others, how AD, methodologies and tiers are applied when breaks in data sources have occurred. The QA/QC section of each category also contains information on how time series consistency is checked. The ERT considers that the recommendation has been addressed, but invites the Party to provide more background information and analysis on observed times series trends of emission factors and emissions, currently the NIR includes this only for AD.	2021 Review PMF* / I.1	Implemented. Regarding lime CO2 emissions, explanations / information on the issue of consistency of the different methods/data sources used for the time series since 1990 have been implemented in	
IPPU	2.C.1 Iron and steel production – CH4 (I.8, 2019), (I.14, 2017) Comparability	Report CH4 emissions from sinter production under iron and steel production.	The Party reported in its NIR (p.326-330 and 337) that due to a revision of its methodology induced by a previous recommendation (I.11, 2019), it has allocated all relevant CO2 and CH4 emissions to 2C1, including CH4 from sinter production. However, the NIR does not contain a description on how these CH4 emissions from sinter have been estimated. During the review, the Party clarified that the methodology has not changed and is described in chapter 1A2a (p.186). The Party indicated that they will add “Sinter plants” in the workshops concerned by CH4 emissions and include the description of the methodology in chapter 2C1 for its next NIR The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet reported a methodology description for estimating CH4 emissions in the IPPU section.	2021 Review PMF* / I.4	Implemented. The CH4 emissions from sinter production have been reported in 2.C.1.a instead of 1.A.2.A.2.a. Indeed the GHG emission methodology has been revised, and the allocation of emissions are now compliant with the IPCC 2006 guidelines. In the IPPU section 2C, this has been completed by 15 March in line with the NIR 2022.	Chapter 2C
IPPU	2.C.1 Iron and steel production – CO2 (I.10, 2019) (I.14, 2017) Accuracy	Collect data – from governmental agencies responsible for manufacturing or energy statistics, business or industry trade associations, or individual iron and steel companies – on the following national process materials for the entire time series: steel scraps, electrode consumption and pig iron for electric arc furnace steel production; steel scraps, iron ore and dolomite consumption for basic oxygen furnace steel production; iron ore and sinter consumed for pig iron production in	The Party reported in its NIR (p.335) which source for AD data has been used. However, The Party did not report on the AD data itself. During the review, the Party clarified that activity data reported in the CRF tables for 2C1 is the sum of BOF steel and EAF steel (provided by the steel federation until 2013 (the individual plants did not always report their production), and by the EU ETS/E-PRTR reports after 2013). The Party further clarified that AD is only used to calculate the IEF. The ERT considers that the recommendation has not yet been addressed because the Party has not yet reported AD on steel scraps, electrode consumption and pig iron for electric arc furnace steel production; steel scraps, iron ore and dolomite consumption for basic oxygen furnace steel production; iron ore and sinter consumed for pig iron production in blast furnaces; and iron ore consumed for sinter production.	2021 Review PMF* / I.5	Implemented. The CO2 emission estimation methodology has been revised for the new submission: EU ETS reports are now used to estimate CO2 emissions. All CO2 emissions related to process emissions, and related to the use of solid fuels (for the process and for combustion (i.e. the consumption of iron and steel gases in iron and steel plants) are	Chapter 2C
IPPU	2.A.2 Lime production – CO2 (I.22, 2019) Transparency	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 regarding data provided by the cement producers federation, and the reasons for any change in the CO2 EF between 2016 and 2017.	The Party reported in its 2021 NIR (p. 283-284.) on the sources of AD for 2.A.2. The QA/QC procedures for the AD are explained in the 2021 NIR (p.300). Furthermore, in its 2020 NIR (p. 289), France reports a recalculation of AD, affecting also the IEFs for 2016 and 2017. However, the AD shares reported in the NIR for the different lime types do not sum up to 100 per cent. During the review, the Party clarified that the reported shares were not correct, but that the emissions are not affected by this since they are determined in a bottom-up manner. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not reported correct AD (shares).	2021 Review PMF* / I.10	Implemented. The recommendation's features have been included in the NIR submission 2020. Figures of the different shares of lime type has been updated in the 2022 NIR submission.	
IPPU	2.G.1 Electrical equipment – SF6 (I.24, 2019) Consistency	Verify that the time series between 2015 and 2017 is accurate, and, if applicable, describe in the NIR the rationale for any fluctuation and peak in 2016 in order to improve the transparency and accuracy of reporting.	The Party reported in its NIR (p.433-434) on the methodology applied to collect AD and emission data. However, the Party has not reported on an emission trend analysis to explain interannual fluctuations. During the review, the Party clarified that all data for 2.G.1 is covered by a bottom-up plant based approach, not by calculation. It further specified that emissions are reported directly by ERDF/Enedis, the subsidiary in charge of managing the electricity distribution networks in France, RTE, the transmission system operator and EDF, the largest producer and supplier of electricity in France. The ERT considers that the recommendation has not yet been addressed because the Party has not reported on rationale of interannual fluctuations in emissions..	2021 Review PMF* / I.12	Implemented. Information have been completed in the NIR	Chap 4.8
Agriculture	3.B.1 Cattle – CH4 (A.2, 2019) (A.3, 2017) (A.20, 2016) (A.20, 2015) Transparency	Provide in the NIR disaggregated values on a livestock subcategory level for animal body weight and any other important parameters used (e.g. net energy intake, organic matter intake, feed digestibility) and explain the approach used to calculate weighted average values.	The Party has implemented further information in its NIR (p.446-455) and has partially implemented the requested information. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed as France is using a national CH4 calculation methodology based on kg CH4 per kg animal (NIR page 482-487) rather than the method from the 2006 IPCC Guidelines, which use a percentage loss of carbon converted to CH4 (Ym) of the total C intake in feed.	2021 Review PMF* / A.1	Improvements still ongoing. The method used in France to estimate enteric CH4 from cattle is a national Tier 3 method, which differs from the 2006 IPCC Tier 2 method as underlined by the review. The Tier 3 method used has been developed by INRA and has been published in the Journal of Environmental Management (Eugene and al, 2019 "A new Tier 3	Chapter 3A
Agriculture	3.B Manure management – CH4 and N2O (A.19, 2019) Accuracy	Implement data-collection efforts that allow for the separate reporting of data on the allocation of manure subject to composting by climate region and the methane conversion factor, Nex for composting and N2O emissions	The Party has reported that it has difficulties to collect data on composting, but it is in progress.	2021 Review PMF* / A.4	Not yet implemented. There is still little information on composting in France, thus it cannot be a mid-term objective for us to implement any	Chapter 3B
LULUCF	4. General (LULUCF) – CO2, CH4 and N2O (L.4, 2019) (L.4, 2017) (L.22, 2016) (L.22, 2015) Transparency	Report in the NIR complete information on data sources, assumptions and methodologies used. In particular, ensure that the following information is reported: (b) The time series 1971–1989 of the land use and land-use change matrix (equivalent to CRF table 4.1); (k) For each natural disturbance type, the time series from 1990 to the latest reported year of areas of forest land subject to natural disturbances disaggregated at the level of regions and forest types applied for calculating the national total biomass gross annual increment; (l) The time series from 1990 to the latest reported year of the total harvested wood subdivided by land of origin (i.e. metropolitan France and overseas territories), and land use	The Party reported that the requested information has been partly been added into its NIR 2020. During the review, the Party clarified that: (b) Information was added in annex of the NIR 2020 and on p.589. However, France did not provide the required time series in the NIR or an annex to it. During last review, the Party explained that information is available back to 1982 and that the period 1971–1982 is extrapolated using an average land-use change area from 1982 and 1989, and that from this extrapolation, the matrices and land representation are constructed. (k) During the review, the Party reported that the expected detail is very high and is actually not available, so not included in the NIR. However, during the review, the Party provided the ERT with some background documents, in which this information was provided, from 1990, at the disaggregated level of regions and forest types. (l) During the review, the Party reported that the expected detail is very high and is actually not available, so not included in the NIR, but the Party provided the ERT with detailed information on the disaggregated information about Harvested Wood Products. (q) The Party indicated that they have improved the transparency about the forest land in the NIR since this recommendation. In addition, during the review, the ERT was provided with a summary table for the next NIR submission in order to provide better insights at the NFI data.	2021 Review PMF* / L.3	Implemented. (b) Time series were provided in required time in the file “LULUCF_background.xlsx” (in spreadsheet named “Area1 History”). This file was part of the submission 2021 with the NIR and CRF tables as a complementary annex. Therefore this issue should be considered as resolved. (k) In the same file “LULUCF_background.xlsx”, information about wildfires per region and per year is also available. This is currently the only natural disturbance that has a background level estimated. Therefore this issue should be	
LULUCF	4. General (LULUCF) – CO2 and N2O (L.8, 2019) (L.10, 2017) (L.25, 2016) (L.25, 2015) Accuracy	Apply the IPCC default SOC values and SOC change factors for those territories (e.g. overseas territories), for which country-specific factors have not been calculated.	The Party reported that this has not yet been addressed. During the review, the Party clarified that actually the use of IPCC default is implemented when no country specific value is available. SOCref (forest) is based on country specific values, and SOC for other categories is based on IPCC default Forest and Land use (FLU) or on specific hypothesis when default IPCC values are not relevant. For all these cases, data is now available to estimate SOC for cropland and grassland, and the Party will consider, if relevant, to use them in the future to better estimate FLU based on country-specific data. Overall, the specificities of these territories make it difficult to always apply directly the same hypothesis and default values.	2021 Review PMF* / L.5	not resolved yet, partially implemented	

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

LULUCF	Land representation – CO2 and N2O (L.12, 2019) (L.33, 2017) Accuracy	Identify land representation of croplands accurately in order to report emissions/removals taking into account the 20-years transition period for land conversions. In doing so, depending on available resources, consider (1) improving the spreadsheets for allocation of the known total organic soils area across all relevant land-use subcategories; or (2) linking land use and soils by implementing approach 3 for land representation provided in the 2006 IPCC Guidelines through enhanced use of TERUTI-LUCAS	The Party reported that this has not yet been addressed	2021 Review PMF* / L.6	not resolved yet	
LULUCF	4.A Forest land – CO2 (L.14, 2019) (L.12, 2017) (L.9, 2016) (L.9, 2015) (91, 2014)	Provide more transparent information regarding the integration between TERUTI and the NFI data, and also explain the reasons for the changes in the nomenclature of TERUTI and the	The Party did not report any changes to increase transparency in its NIR of 2020. During the review, the Party clarified that this is not a requirement since they use tier 2 methodologies instead of tier 3. The ERT considers that the recommendation still holds since it would increase the transparency of the calculations as a whole, independent of the tier used.	2021 Review PMF* / L.7	Implemented. Explanations have been provided in the latest NIR submission 2022.	
LULUCF	4.A Forest land – CO2 (L.15, 2019) (L.13, 2017) (L.11, 2016) (L.11, 2015) (95, 2014) (90, 2013) Accuracy	Assess and report on the potential impact of using NFI data on carbon stocks and carbon stock changes, calculated over the NFI area, together with the TERUTI areas data set.	The Party reported in its NIR many explanations on the methodology to include both TERUTI (p. 568) and NFI in the French inventory. It is updated each year. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has different sets of data capable of tracking land use, but it is not easy to compare them owing to differences in nomenclature, time period covered and spatial resolution. So for land converted to other land, this still needs to be addressed (see #L.11 in 2020)	2021 Review PMF* / L.8	partially implemented	
LULUCF	4.B.2 Land converted to cropland – CO2 (L.18, 2019) (L.19, 2017) (L.18, 2016) (L.18, 2015) (102, 2014) (98, 2013) Completeness	Apply at least a tier 1 method from the IPCC good practice guidance for LULUCF to estimate the net CO2 emissions and removals from land converted to perennial crops.	The Party reported that this has not been implemented.	2021 Review PMF* / L.10	not resolved yet	
LULUCF	Cropland converted to other land uses – CO2 (L.19, 2019) (L.20, 2017) (L.19, 2016) (L.19, 2015) (103, 2014) Completeness	Provide estimates of biomass losses from conversion of perennial crops to other land uses (including cropland converted to wetlands, settlements and other land).	The Party reported estimated biomass loss from the conversion of perennial crops to other land uses (including cropland converted to wetlands and settlements) p. 579, except for other lands, for which all categories are reported as “NE”. During the review, the Party explained that the reported emission/removal estimates include both the metropolitan territory and the overseas territories. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet reported the biomass losses from all categories.	2021 Review PMF* / L.11	not resolved yet	
LULUCF	4.C Grassland – CO2 and N2O (L.22, 2019) (L.25, 2017) (L.30, 2016) (L.30, 2015) Completeness	Applying at least the tier 1 IPCC method, report estimates of biomass and soil carbon stock changes, and associated CO2 and N2O emissions, in: (a) Grassland remaining grassland, reporting emissions and removals associated with	The Party reported in its NIR2020 the N2O emissions from mineralisation on grasslands remaining grasslands on p. 561, Table 135 and p. 640. The associated CO2 emissions are still missing, so the ERT considers this issue has not yet been fully addressed.	2021 Review PMF* / L.13	Implemented. CO2 emissions due in Grassland remaining Grassland are reported and explained in the Grasslandf chapter of the NIR 2022.	
LULUCF	4.D. Wetlands – CO2 and N2O (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	The Party did not report any information on the methodology for the land conversion from and to wetlands in its NIR. During the review, the Party clarified that this has not yet been addressed.	2021 Review PMF* / L.14	not resolved yet	
LULUCF	4.F.2 Land converted to other land – CO2 and N2O (L.25, 2019) (L.28, 2017) (L.33, 2016) (L.33, 2015) Completeness	Estimate SOC losses and associated CO2 and N2O emissions originated from conversions of cropland, grassland, wetlands and settlements to other land either applying the IPCC default assumption (i.e. all SOC lost in the conversion), or applying a country-specific SOC factor for other land.	The Party did not report an estimate of the SOC losses and associated CO2 and N2O emissions. During the review, the Party clarified that the conversion from and to other lands are not identified as reliable enough to estimate emissions/removals. The ERT considers that therefore the reliability of the country AD on land converted to other lands may be questionable, and that the Party may wish to reconsider its definition of other land or how it categorises land as being converted to other land as an alternative way of resolving this issue.	2021 Review PMF* / L.15	not resolved yet	
LULUCF	4. General (LULUCF) – CO2 and N2O (L.30, 2019) Transparency	France did not provide the methodology and input factors (e.g. carbon stock change) used for calculating the emissions/removals resulting from carbon stock changes (CO2) and associated mineralization (N2O) in mineral soils for all land conversions for the overseas territories. During the review, the Party indicated that the	The Party reported in its NIR (p.605) some methodological descriptions and assumptions for the overseas territories. During the review, the Party clarified that it was not implemented as presented in the recommendation, but most of the details are in the NIR. Carbon stock change approach for forest land converted to other categories has been explained. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet included all assumptions and carbon stock change factors used.	2021 Review PMF* / L.18	Implemented. All soil carbon parameters for overseas territories are presented in the NIR 2022 (general section - mineral soils) and assumptions for cropland remaining cropland and for grassland remaining grassland	
LULUCF	4.B.1 Cropland remaining cropland – CO2 (L.35, 2019) Accuracy	Distinguish between perennial and annual crops in the area data for its overseas territories, using, in the absence of country-specific information, default carbon stock change factors from tables 5.1–5.3 of the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4).	The Party has not addressed this in the current submission. During the review, the Party clarified that this has not been implemented since perennial and annual crops are not distinguished in overseas territories data. However, there is a plan to prepare in the next years the implementation of a new spatially explicit approach to monitor land-use change with a distinction between vineyards and other perennial crops). This approach currently tested over mainland of France, is also going to be applied to overseas territories, especially for fruit trees. The first related submission including this spatially explicit approach will be reported in 2023.	2021 Review PMF* / L.22	To be improved / implemented with the LULUCF spatially explicit approach starting with the 2023 submission.	
LULUCF	4.B.2 Land converted to cropland – CO2 (L.37, 2019) Comparability	Include the net losses due to the conversion from forest land to cropland in CRF table 4.B under losses, and use the key notation “IE” for gains in the carbon stock change for living	The Party did not report in its NIR on changes regarding this issue. The Party clarified that this has not been done yet. .	2021 Review PMF* / L.24	not resolved yet	
LULUCF	4.G HWP – CO2 (L.39, 2019) Transparency	Provide information in the NIR on the HWP in SWDS, namely, whether the emissions/removals are significant; if they are insignificant, “NE” can be reported, but if they	The Party reported that this has not been planned yet.	2021 Review PMF* / L.26	not resolved yet	
LULUCF	4(I) Direct N2O emissions from N input to managed soils – N2O (L.40, 2019) Completeness	Estimate N2O emissions from nitrogen fertilization in forest land, or if the volumes of fertilizer cannot be distinguished from those reported under the agriculture sector (cropland and grassland), report all the emissions under the agriculture sector and indicate in the documentation box to CRF table 4(I) and in the	The Party reported that this has not been done. During the review, the Party clarified that fertilization of land other than cropland and grassland is currently not estimated in the inventory. The notation key harmonization between the NIR and the CRF tables will be considered in future submissions.	2021 Review PMF* / L.27	not resolved yet. Will be partially implemented in march 2022 submission with the CRF table notation keys	
LULUCF	4(III) Direct N2O emissions from N mineralization/immobilization – N2O (L.41, 2019) Completeness	Provide in CRF table 4(III) and in the NIR estimates for N2O emissions due to mineralization associated with carbon stock changes in soils in grassland remaining grassland using the carbon stock changes reported in CRF table 4.C.	The Party reported that the emissions were calculated to show that it can be judged negligible and reported as not estimated in the NIR. Eventually the Party expects to report this emission by quantitative estimates. There was no time for the calculation this year though. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet provided the estimates in the CRF tables and encourage the Party to do so in a next submission.	2021 Review PMF* / L.28	Implemented. Note that N2O emissions from grassland remaining grassland due to mineralization do not occur for all years. These emissions are estimated only when grassland remaining grassland are a source	
Waste	5. General (waste) (W.1, 2019) (W.1, 2017) (W.2, 2016) (W.2, 2015) (111, 2014) (102, 2013) Transparency	Clearly specify when data and figures refer to the geographical coverage under the Convention or under the Kyoto Protocol, and increase the transparency of the reporting of estimated activities for the overseas territories, including the parameters and methodologies used.	In the 2019 ARR it was concluded, that France included more information in the NIR. However, the Party did not explain in the NIR the parameters and methodologies used for estimating emissions from industrial wastewater treatment in the overseas territories. The Party reported in its 2021 NIR (p.704) that emissions from industrial waste water from overseas territories are not taken into account. During the review, the Party clarified that this is due to small industrial activities and lack of data. The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party has not yet mentioned in the NIR, that emissions from industrial waste water from overseas territories are not taken into account, because emissions are negligible due to small industrial activities.	2021 Review PMF* / W.1	Implemented. France mentioned in its NIR 2022 submissions that “emissions from industrial wastewater from overseas territories are not taken into account, as emissions are negligible due to small industrial activities.”	Chap 7 / Section 7.5.2

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Waste	5. General (waste) – CH4 (W.2, 2019) (W.13, 2017) Transparency	Include in chapter 7.1 of the NIR an overview of all wastes generated and the extent to which it is recycled, incinerated, landfilled or treated otherwise (including waste types specified in the 2006 IPCC Guidelines, volume 5, chapter 3, paragraph 3.5 and ensuring the inclusion of wastes that are considered inert).	The Party reported in its NIR (p.670, Table 203) total waste generation in France. In 2016 in total 326 Mton of waste is generated. Figure 169 (p. 671) specifies waste treatment in 2016 and Figure 170 (p. 672) the development in waste treatment. However, Figure 169 only refers to 53.1 Mton waste treated in Household Waste Treatment Facilities (ITOM) and Figure 170 refers to about 30-55 Mton of waste per year, characterized as DMA (household and similar waste). Large part of the difference between waste generation in Table 203 and waste treatment in Figure 169 and 170 can be explained by waste from the construction sector. This waste is classified as mineral waste (waste 40 in the statistical nomenclature of waste), other non-hazardous minerals (waste 42) and land (waste 46). During previous reviews, the Party explained that the waste can be considered to be inert material and therefore it produces no CH4 emissions. This issue does not challenge that assumption. This issue is about the gap between total waste generation in France (326 Mton of waste in 2016) and the amount of waste, treated in ITOM (53.1 Mton of waste), which is not entirely explained by waste from the construction sector (224 Mton). In response to a query from the 2019 ERT about including an overview of all wastes generated and the extent to which they are recycled, incinerated, landfilled or otherwise treated, the Party explained that it is not possible to include an overview such as the one specified in the 2006 IPCC Guidelines (vol. 5, para. 3.5) as neither the French Statistical Office nor ADEME publishes the required information. The ERT acknowledges the Party's response, but notes that implementing the previous recommendation is essential to enable France to demonstrate that all waste generated is appropriately considered in the annual GHG inventory. The ERT reiterates that the waste flows in France should be considered further in the next in-country review.	2021 Review PMF* / W.2	Still not implemented	
Waste	5.A Solid waste disposal on land – CH4 (W.3, 2019), (W.2, 2017) (W.10, 2016) (W.10, 2015) (117, 2014) (105, 2013) Transparency	Provide more information on the waste composition allocation to the degradation categories used for the estimation for all years of the time series by adding a table to the NIR that explains how the ITOM categories are matched to the degradation categories used for the estimation and provide another table that shows the share of these degradation categories in relation to the total	The Party reported in its NIR (p.681, table 207) an overview of waste composition for the years 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 1995, 2000, 2005 and 2010–2017. However, the Party not explain how the ITOM categories are matched to the degradation categories used for the estimation of emissions. During the 2019 review, the Party explained that the ADEME survey contains more than 100 waste categories, which is too many to incorporate into NIR tables. During the 2021 review, the Party indicated that some information will be implemented next year concerning allocation between ITOM categories and IPCC categories. The ERT reiterates that the waste composition in France should be considered further in the next in-country review.	2021 Review PMF* / W.3	Implemented. France presented in its NIR 2022 submission, a simplified transition matrix between the ADEME waste categories and those of the IPCC.	Chap 7 / Section 7.2.2
Waste	5.D.1 Domestic wastewater – CH4 (W. 13, 2019), (W.10, 2017) (W.25, 2016) (W.25, 2015)	Follow the decision tree in the 2006 IPCC Guidelines regarding the value for Bo and MCF when estimating CH4 emissions from domestic wastewater.	During the review, the Party clarified that they performed a literature survey for new information on emissions from septic tanks. Due to lack of reliable new information, this effort however did not result in an improved emission factor.	2021 Review PMF* / W.7	Still ongoing investigation	
Waste	5.D.2 Industrial wastewater – CH4 (W.14, 2019), (W.11, 2017) (W.24, 2016) (W.24, 2015) Transparency	Include in the NIR clear information on AD and CH4 EFs and detailed information about the industries and amounts of wastewater discharged by those industries considered to calculate CH4 emissions from industrial wastewater.	During the review, the Party clarified that the OMINEA database contains some information. However, this issue is about the amount of COD, generated by industry and assumed to be treated via each treatment system and discharge pathway (see 2006 IPCC Guidelines, Vol 5, Chapter 6, figure 6.1) and the EFs for each system/pathway. The ERT considers that the recommendation has not yet been addressed because the Party has not yet included clear information on activity data and emission factors in the NIR.	2021 Review PMF* / W.8	Implemented. France included in its NIR submission 2022 information relating to the amount of COD generated by industry and processed through each treatment system.	Chap 7 / Section 7.5.2
KP-LULUCF	General (KP-LULUCF activities)– (KL.1, 2019) (KL.2, 2017) (KL.3, 2016) (KL.3, 2015) Adherence to the reporting guidelines under Article 7, paragraph 1, of the Kyoto Protocol	Improve the national system for the overseas territories by introducing additional institutional arrangements to ensure that at minimum information be collected on a continuous basis to be included in France's future annual submission on: (a) Forest area and forest area changes; (b) Forest areas subject to natural disturbances;	The Party did not report any changes in its NIR. During the review, the Party clarified that several projects are focusing on overseas territories, which should lead to improvements in next inventories.	2021 Review PMF* / KL.1	Implemented. New precisions have been provided in the NIR 2022 regarding other datasets that are already used and that may be used in the future for overseas territories.	
KP-LULUCF	General (KP-LULUCF activities)– (KL.2, 2019) (KL.3, 2017) (KL.4, 2016) (KL.4, 2015) Accuracy	Use the data from the NFI plots collected in the areas subject to disturbance or land-use conversion for estimating biomass and DOM carbon stocks in disturbed/ converted areas to enhance the accuracy of estimates of GHG emissions associated with disturbance of forest	The Party did not report the use of the NFI data plots in the areas subject to disturbance or land-use conversion. The Party clarified that actually DOM was not added to stocks of biomass taken into account for forest fires. The reason for this is that DOM remains a very small proportion of biomass. The ERT considers that the recommendation has not yet been addressed.	2021 Review PMF* / KL.2	not resolved yet	
KP-LULUCF	General (KP-LULUCF activities) (KL.4, 2019) (KL.5, 2017) (KL.6, 2016) (KL.6, 2015)	Allocate the appropriate portion of harvested wood to AR lands and remove it from FM, and revise carbon stock change estimates in AR and FM accordingly.	The Party did not allocate the appropriate portion of harvest wood to AR lands and remove it from FM. The Party indicated that the origin of harvesting cannot be tracked so accurately. They clarified that it is necessary to make strong assumptions to revise this allocation, which therefore has not taken place yet. See also ID# KL.19.	2021 Review PMF* / KL.4	not resolved yet	
KP-LULUCF	General (KP-LULUCF activities)(KL.5, 2019) (KL.7, 2017) (KL.8, 2016) (KL.8, 2015)	Address the inconsistency between the information reported in the report to facilitate the calculation of the assigned amount for the second commitment period of the Kyoto Protocol and the annual submission by	The Party reported that this has not been implemented yet.	2021 Review PMF* / KL.5	Implemented. The natural disturbances provision has not been applied by France in the 2022 submission. Pests and droughts were possible elements	
KP-LULUCF	Article 3.3 activities (KL.8, 2019) (KL.4, 2017) (KL.5, 2016) (KL.5, 2015) Transparency	Report in the NIR the following quantitative information: (a) For both AR and deforestation, the time series (from 1990 to the last reported year) of area subject to the activity (i.e. extend back to the time period 1990–2007 the data series reported in NIR table 69) and of net annual SOC changes; (b) The time series (from 1990 to the last reported year) of annual harvesting, of biomass net annual increment, of GHG emissions from natural disturbances in lands subject to AR; (c) The time series (from 1990 to the last reported year) of biomass carbon stock loss	The Party reported some quantitative information in its NIR 2020. a) Addressing. France reported the annual and cumulative areas of AR and deforestation (as well as FM) for 1990 to 2020 (NIR table 221, p. 728). The net annual SOC changes, however, were not provided; b) The Party indicated that they will not calculate emissions and removals before 2008 under KP format. They clarified that it is not a KP requirement and represents a lot of work. However, the ERT notes that the estimation of GHG emissions from natural disturbances in lands subject to AR is still required for the calculation of the background level and margin if the party intends to apply the natural disturbance provision. See also ID# KL.18 below. c) The Party indicated that they will not calculate emissions and removals before 2008 under KP format. They clarified that it is not a KP requirement and represents a lot of work.	2021 Review PMF* / KL.8	not resolved yet	
KP-LULUCF	FM – CO2, CH4 and N2O (KL.10, 2019) (KL.13, 2017) (KL.12, 2016) (KL.12, 2015) Transparency	Report in the NIR quantitative information on the drivers that have determined the deviation of the actual estimates of GHG emissions and removals reported under FM from the projected GHG emissions and removals included in the FMRL correction value, including: (a) The time series (from 1990 to the latest reported year) of annual harvesting, of biomass gross annual increment, of natural mortality, of FM area and of GHG emissions from natural disturbances used for preparing estimates for FM during the commitment period; (b) The historical time series (1990–2012) of	The Party reported that this has not been implemented yet.	2021 Review PMF* / KL.9	not resolved yet	
KP-LULUCF	FM – CO2 (KL.11, 2019) (KL.14, 2017) (KL.13, 2016) (KL.13, 2015) Accuracy	Use the same age class structure as derived from the NFI for the year 2010 for calculating the FMRL correction value and ensure consistency in the factors applied in the FMRL and in the FM estimates to calculate the total	The Party reported that this has not been implemented yet.	2021 Review PMF* / KL.10	not resolved yet	

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

KP-LULUCF	HWP – CO2 (KL 16, 2019) (KL 21, 2017) (KL 19, 2016) (KL 19, 2015) Transparency	Report in CRF table 4(KP-I)C and in the NIR, as follows: (a) Background data (i.e. the time series of HWP domestically produced from domestic wood) for each HWP category; (b) Information on how HWP domestically produced from domestic wood have been singled out from the total HWP domestically produced; (c) Information on how the HWP contribution of exported HWP, domestically produced with domestic wood, have been estimated; (e) Information that demonstrates the consistency between the harvesting rate reported for estimating biomass net carbon	The Party reported some data in the CRF table (KP-I) C, but they indicated that this issue is not fully resolved. a) France provided volumes of HWPs domestically produced by category, but the data on domestic wood from which these HWPs are derived were not provided in NIR table 157. In CRF KP table 4(KP-I)C, "NO" was reported under harvest and needs to be updated with the values for domestic harvest by category; (b) and (c) France improved the transparency of the NIR and provided additional information on HWP calculations and assumptions in NIR chapter 6.10.2. p. 660. For (b), although the NIR indicates that incoming flows can distinguish wood products from wood harvested in France and wood products from imported wood (p.663), there is no description of how this is done. For (c), the NIR indicates that statistics on exported wood are available, but a distinction is not made for exported wood that is domestically produced [p.665]; (e) France did not provide information in the NIR that demonstrates consistency between the HWPs reported under AR and FM and the domestic production of HWPs.	2021 Review PMF* / KL 13	Implemented. a) The CRF KP table 4(KP-I)C has not been updated as far as harvest is just a partial information to estimated HWP. However, all information (inputs, stocks, outputs) on wood production for HWP is available in the LULUCF background file. b) This has been clarified in the NIR. Imports and exports are known by several statistical datasets. c) It is supposed that statistics on exported wood is about	
KP-LULUCF	General (KP-LULUCF) (KL 19, 2019) KP reporting adherence	Provide definitions for planted and natural forests, and distinguish the areas of planted and natural forests in the NIR and report their total areas in CRF table NIR-2.1 instead of "NE". The ERT encourages the Party, when conducting	The Party reported that this is not planned.	2021 Review PMF* / KL 16	not resolved yet	
KP-LULUCF	FM – general (KL 21, 2019) Transparency	Include in the NIR the calculation and results of the background level and margin for both AR and FM that have been provided in CRF tables 4(KP-I)A.1.1 and 4(KP-I)B.1.3. The ERT encourages the Party, if it intends to use the	The Party did not address the issue and the encouragement was not taken. During the review, the Party clarified that it will be included in the NIR of 2022.	2021 Review PMF* / KL 18	Implemented. Since the natural disturbances provision has not been applied by France, this is no longer needed.	
KP-LULUCF	HWP – CO2 (KL 22, 2019) Accuracy	Include in CRF table 4(KP-I)C information on the amount of wood originating from deforestation, AR and FM, and include the volumes of wood originating from deforestation (during the event) and other land uses in cells D17 and D18, respectively, of that	The Party did not address the issue.	2021 Review PMF* / KL 19	not resolved yet	
KP-LULUCF	HWP – CO2 (KL 23, 2019) Transparency	Provide in the NIR the quantitative values and calculation for HWP accounted for in the first commitment period of the Kyoto Protocol that are excluded from the second commitment period accounting. The Party did not address the issue and the quantitative values and calculation for HWP were not provided. During the review, the Party clarified that it will be included in the NIR of 2022.	The ERT recommends that France provide in the NIR the quantitative values and calculation for HWPs accounted for in the first commitment period of the Kyoto Protocol that are excluded from the second commitment period accounting. The Party did not address the issue and the quantitative values and calculation for HWP were not provided. During the review, the Party clarified that it will be included in the NIR of 2022.	2021 Review PMF* / KL 20	Implemented. A table showing the details of HWP excluded for the CP1 is provided in the NIR 2022.	
Additional findings made during the individual review of the 2021 annual submission of France						
IPPU	2.B.1 Ammonia production – CO2 Transparency	The Party reported in its NIR (p.307-309) and CRF Table2(I)s1 and Table2(I) A-Hs1 CO2 emissions from ammonia production. Although the NIR states that CO2 is removed for in urea production and for the production of liquified CO2, the entry form removal in CRF Table2(I) A-Hs1 is "NO". During the review, the Party clarified that CO2 emissions from ammonia production are accounted for differently in the EU-ETS and in the national GHG inventory. CO2 ETS emissions take into account CO2 emission releases plus CO2 recovered for liquefaction of CO2 plus CO2 recovered for urea production (all CO2 is accounted in the production sector). In the national GHG inventory, CO2 recovered for urea production is subtracted from the CO2 ETS (to	The ERT recommends that the Party reports CO2 emissions of removal in ammonia production for urea production in the CRF Table2(I) A-Hs1 and describe transparently in the NIR how these removals are treated compared to the reported emissions this category.	2021 Review PMF* / I.14	Implemented. The CO2 emissions of removal in ammonia production for urea production have been added in the CRF Table2(I) A-Hs1. Regarding related explanations, it was already included the previous NIR.	
IPPU	2.B.1 Ammonia production – CO2 Comparability	The Party reported in its NIR (p.307-309) and CRF Table2(I)s1 and Table2(I) A-Hs1 on CO2 emissions from ammonia. From the description in the NIR, it became clear that the reported emissions do not include CO2 from combustion activities in this category, as prescribed in the IPCC 2006 GL. During the review, the Party clarified that it does not report combustion emissions from ammonia production in the IPPU sector but in the energy sector (emissions from auxiliary combustion equipment) to allow a better overall treatment of the national energy	The ERT recommends that the Party include CO2 emissions from energy activities under ammonia production in IPPU (2B1) as per IPCC GL, report on how the consistency of the times series has been implemented and report on the resulting recalculations between the energy and IPPU sector in its next submission.	2021 Review PMF* / I.15	Implemented. Non-energy CO2 emissions are reported in 2B1 using bottom-up approach and CO2 emissions from combustion are reported in 1A2 using a top-down approach.	
IPPU	2.A.2 Lime production Transparency	The Party reported in its NIR (p.295-296) and CRF Table2(I) A-Hs1 on how it estimated CO2 emissions from sugar refineries. The ERT noted that in CRF Table2(I) A-Hs1 CO2 recovery (230,37 kton CO2 in 2019) are reported under category 2H2 which are not reported in CRF Table2(I)s2 (only emissions are reported here, identical value as reported emissions of 2H2). The ERT noted that this is not in accordance with [the 2006 IPCC Guidelines]. During the review, the Party clarified that all CO2 emissions related to lime production (including lime production in sugar mills) are reported in 2A2. These emissions take into account the recovered CO2 from sugar mills. Hence the reported emissions from sugar mills under 2A2 are net emissions: total CO2 emissions minus recovered CO2. The Party	The ERT recommends that the Party improve the description in the NIR explaining the reported CO2 recovered under 2H2 and the relation to the net CO2 emissions reported under 2A2, by e.g. include the clarification provided during the review.	2021 Review PMF* / I.16	Implemented. The recommendation's feature has been taken into account in the 2022 NIR submission.	

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

IPPU	2.A.2 Lime production – CO ₂ Consistency	The Party reported in its NIR (p.291-296) on the AD used to estimate emissions from lime production. The Party provided for three lime types the AD (production) share: hydraulic lime, quick lime and lime produced in sugar mills. The ERT noted that these shares do not sum up to 100 per cent. During the review, the Party clarified that indeed a mistake in the reported percentages for the different types of lime has occurred. It	The ERT recommends that the Party report the correct shares of lime production in its next submission. The ERT also encourage the Party to improve the QA/QC of its NIR reporting in order to avoid such errors in future submissions.	2021 Review PMF* / I.17	Implemented. Correct figures regarding the different types of lime has been provided in the 2022 NIR submission.	
IPPU	2.G.4 Other (other product manufacture and use) – HFC Consistency	The Party reported in its CRF Table 2(I)B-Hs2 HFC emissions from stocks of ORC (operational emissions), however it did not report on AD or EF data in the same CRF table, all other entries are reported as "NO". During the review, the Party clarified that the ORC systems of heat recovery by organic Rankine cycle (ORC) is not very developed in France. These systems are recently used in France, since 2012 so for the moment the installations are not yet at the end of their lifetime, so no emissions from disposal occur yet. Furthermore, the practice for these ORC systems are such that F-gas charging for new equipment is always done in the industrial plants when installing the new systems, rather	The ERT recommends that the Party ensure consistency of its reporting of emissions by including AD, EF and emissions in this category. The ERT also recommends the Party to improve the QA/QC of its reporting to avoid such obvious inconsistencies in the future.	2021 Review PMF* / I.18	Not still implemented. Emissions split will be implemented in the CRF tables in the next submission.	
IPPU	2.F.1 Refrigeration and air conditioning – HFC Accuracy	The Party reported in its CRF Table 2(I)B-Hs2 for 2.F.1.c (industrial refrigeration) a manufacturing EF for HFC-143a of 218.58 per cent for 2019 (compared to 19.48 per cent for 2017). The ERT finds this percentage too high and unexplained for in the NIR. During the review, the Party clarified that the 2018 and 2019 R-143a emissions at manufacturing have been overestimated. The correct value should be about 0.25 tonnes of R-143a instead of 4.85 tonnes for the	The ERT recommends that the Party revise its assumptions for EF from manufacturing and report the correct values in its next submission (as well as reporting on the resulting recalculations). The ERT further recommends the Party to improve the QA/QC of its reporting to avoid such obvious errors in the future.	2021 Review PMF* / I.19	Implemented. All the time series have been reviewed and improved for this sector 2.F.1.c (industrial refrigeration). Furthermore, QAQC procedures have been improved also including an EF outlier tool.	
IPPU	2.G.1 Electrical equipment – SF ₆ Accuracy	The Party reported in its CRF tables 2(I)B-Hs2 time series of AD and emissions related to the use of SF ₆ in electric equipment. The ERT noted that there is a serious mismatch between the amounts of SF ₆ reported for new fillings and stocks and emissions related to new fillings, operation and end of life. Amounts of new fillings (AD) are in the order of magnitude of 1/3 of total annual stocks. However, nor stock nor emissions account for these amounts added to the system. Given the nature of equipment and their long-life time (assumed to be 40 years) and reported emissions from operation and end of life, there seem to be gap of 100s ton of SF ₆ unaccounted for. The ERT consulted the UNFCCC Locator tool and that showed that France, together with another EU MS, is responsible for % of total amounts of new fillings in the EU, which seems unrealistic given the fact that electric equipment is related to country size and to population and industry activity among others. From the same Locator tool, the ERT found that reported emissions are less an outlier from this category compared to	The ERT strongly recommends the Party to report on this survey and its outcome in its next submission, to revise the AD time series, to perform a more thorough QA/QC procedure on reported AD for new fillings and stock and related emissions time series (from manufacturing, operation and end of life) of this category and to report transparently on any resulting recalculations.	2021 Review PMF* / I.20	Implemented. France is an important exporter of electrical equipment. Indeed, each year more or less 300 ton of SF ₆ are filled into new products by French manufacturer but only a small part is for French customer. For example, in 2013, 391 t of SF ₆ were consumed by French manufacturer but only 22,8 tons sold in France (6%). That's explain the different between high amount of SF ₆ filled into new products and only few interannual stock increases. Considering that this is more an issue of transparency than an issue of accuracy, more information had been included in the next NIR 2022 to explain this phenomenon.	Chap 4.8.1
IPPU	2.G.1 Electrical equipment – SF ₆ Consistency	The ERT also noted that there is a trend rupture in stocks between 2010 and 2011 (minus 70 ton SF ₆). During the review, the Party clarified that the decline in the stock observed between 2010 and 2011 is linked to a break in the source of data used : data used between 1998 et 2010 are	The ERT recommends that the Party investigate this more in detail and propose new estimates ensuring time series consistency and report on the outcome in its next submission.	2021 Review PMF* / I.21	Implemented. Corrections have been implemented to estimate the SF ₆ stocks and ensure to have a time serie consistency	
IPPU	2.D Non-energy products from fuels and solvent use – Indirect CO ₂ Completeness	The Party reported in its NIR (p.x) that it reports indirect CO ₂ from the atmospheric oxidation of NMVOCs from solvent use in 2.D.3. and IE in table 6 for indirect CO ₂ emissions for IPPU. Moreover, the Party is not reporting the national totals with and without indirect CO ₂ emissions. However, according to the UNFCCC reporting guidelines, for Parties that decide to report indirect CO ₂ the national totals shall be presented with and without indirect CO ₂ . The ERT noted that this is not in accordance with [the 2006 IPCC Guidelines.	The ERT recommends that the Party, when estimating indirect CO ₂ emissions, to report national totals with and without indirect CO ₂ in their next submission.	2021 Review PMF* / I.22	Issue taken into account. The NIR 2022 includes one additional explanations on this issue, cf. NIR 2022 section 9.1 : Following the recommendation by the EU WGI, indirect CO ₂ emissions from NMVOC emissions from solvents are reported in the 2D3 (instead of table 6). since there are no other indirect emissions in the French inventory than those included elsewhere,	

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Agriculture	3.A.1 Cattle – CH4 Transparency	The CH4 emission from enteric fermentation from cattle (3.A) is based on the French feeding system where feed consumption data is collected for different livestock categories from different areas in France (Devun et al., 2015, Alimentation des bovins, rations moyennes et niveaux d'autonomie alimentaire). These data are reported in kg dry matter head-1 yr-1 and combined with a French model for CH4 emission from enteric fermentation (Sauvant et al., 2011). In the NIR Tables 97, 98 and 99 France has estimated the energy intake and the emissions from the different livestock categories estimated with the French model and the outcome if the model in the 2006 IPCC Guidelines were used. The 2006 IPCC Guidelines generally recommends the American NCR model. This model is based on the net energy intake (NEI) by the ruminants, whereas the French feeding system is based on	The ERT recommends that France analyse and discuss in detail the low energy intake and justify the variation in the collected data by Devun et al. (2015), their representativeness for French cattle farming, the quality of the feed and its conversion into metabolized energy as well as other conversion factors such as the validity of basic transformation of ME data to dry matter intake its next submission.	2021 Review PMF* / A.8	Improvements still ongoing. As a national Tier 3 method is used to estimate enteric CH4 from cattle, France included in the NIR the energy intake and the emission factors from the different livestock categories estimated on one hand, with the French model and, on the other hand, the outcome if the model in the 2006 IPCC Guidelines were used. Depending on the subcategory, the French modelling approach shows a lower energy intake (for dairy cows and for most of the young animals) or a higher energy intake (for suckler cows and for most of the animals over 2 years). As underlined by the reviewer, the French method is based on	
Waste	5.B.1 Composting – CH4, N2O Transparency	The Party reported in its CRF-Tables 5B for 2019 and for composting an IEF of 8.26 g CH4/kg waste (dm) and an IEF of 0.14 g N2O/kg waste (dm). The NIR (p.686) provides methodology information for quantification of methane and N2O-emissions. AD are quantities of waste composted and EFs for each category of waste (green and organic waste, mixed household waste, sludge and others) were based on literature. The ventilation mode of the installations (closed vs. open air composting) is also taken into account. The ERT noted that the IEF are higher than expected, when compared to the literature source and assuming a moisture content of 60 per cent in wet waste. When trying to assess the implications of this for total emissions, the ERT noted that the NIR does not provide sufficient information to reproduce the CH4 and N2O-emissions reported. During the review, the Party clarified that it assumes a moisture content of 60 per cent for green waste, 37 per cent for household waste, 63 per cent for bio-waste and 70 per cent for sludge. And the Party specified the (wet waste) EF used: for actively aerated installations, the EF used are 2.500 g CH4/t and 77 g N2O/t. For	The ERT recommends that the Party specifies all EF and AD used to quantify emissions due to composting in the next submission and clearly specifies what information comes from national statistics (total amount of waste composted) an what is assumed/considered (percentage actively and passively aerated installations; composition of waste composted; amount of waste composted at homes and its composition). The assumption on moisture content does not affect emissions. However, it does affect the IEF and to facilitate comparison to other Parties the ERT recommends the Party to either assume 60 per cent moisture content in all waste fractions or to specify in the documentation box the assumptions used on moisture content in the various types of waste.	2021 Review PMF* / W.14	Implemented. France specified all EFs and ADs used to quantify emissions from composting in the NIR 2022 submission and presented the assumptions used on the moisture content of different types of waste.	Chap 7 / Section 7.3.2
Waste	5.B.2 Anaerobic digestion at biogas facilities – CH4 Transparency	The Party reported in its NIR (p.686) that emissions from anaerobic digestion are based on a biogas generation rate of 320 m3 per ton of raw material, a methane concentration of 60 per cent in the biogas produced and a leakage rate of 5.0 per cent. The CRF Table 5B for 2015 reports for anaerobic digestion an IEF of 5.9 g CH4 per kg dry waste. The ERT noted that the IEF in the CRF Table is much lower, than expected based on the description in the NIR (resulting in 17.1 CH4 per kg dry waste). During the review, the Party clarified that the	The ERT recommends that the Party clearly specify all AD and assumptions in the NIR used to quantify emissions from anaerobic digestion. Relevant assumptions are biogas generation for each type of waste, methane concentration in biogas, density of methane and leakage rate.	2021 Review PMF* / W.15	Implemented. France specified all EFs and ADs used to quantify emissions from anaerobic digestion in the NIR 2022 submission.	Chap 7 / Section 7.3.2
Waste	5.D.2 Industrial wastewater – CH4 Transparency	The Party reported in its NIR (p.704-705) its methodology to quantify methane emissions from treatment of industrial waste water. The ERT noted that emissions could not be reproduced from the information provided. The Party described, that emissions from treatment of sludge from industrial wastewater is calculated, assuming 5 per cent leakage loss upon anaerobic digestion. However, the ratio of methane emissions and methane recovery for industrial waste water in the CRF-Table 5B suggested that a much higher leakage rate was used. During the review, the Party explained the AD used for the amount of sludge treated by the	The ERT recommends that the Party clearly specify in the NIR in the next submission all AD and assumptions used to quantify emissions from industrial waste water. Relevant AD are the amount of sludge treated by the industries themselves and the amount of COD from industries, received by lagoons and the MCF assumed for treatment of industrial waste water in lagoons. The ERT also recommends the Party to include in the CRF-Table 5.B the amount of methane recovered for energy production from sludge, treated by the industry themselves.	2021 Review PMF* / W.16	Implemented. In the NIR 2022, France specified all the EF and AD used to quantify the emissions due to the treatment of wastewater and more specifically the quantity of sludge treated by the industries and the quantity of COD coming from the industries, received by the lagoons and the assumed MCF for the treatment of industrial wastewater in lagoons.	Chap 7 / Section 7.5.2
Waste	5.D.2 Industrial wastewater – CH4 Accuracy	The Party reported in its NIR (p.704) its methodology to quantify methane emissions from treatment of industrial waste water in lagoons (in the NIR also referred to as in-situ stations). The ERT noted that in the absence of data entering the lagoons (COD generated by industrial processes, the COD data leaving the lagoons are used. Since lagoons remove part of the COD generated by the industrial process, this results in an underestimation of emissions. During the review, the Party acknowledged this underestimate, but indicated that it results in a	The ERT recommends the Party to improve in the next submission its calculation of methane emissions from lagoons by estimating the amount of COD generated by the industrial process from the amount of COD discharged from the open lagoons and an assumption on COD-removal by the lagoon.	2021 Review PMF* / W.17	Ongoing Improvement. France will investigate in order to formulate a hypothesis on the elimination of COD by the lagoon in order to improve its calculation of methane emissions.	Chap 7 / Section 7.5.2

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN FRANCE DE 1990 A 2020

Waste	5.A.1 Managed waste disposal sites – CH4 Transparency	The Party reported in its NIR (p. 682) their procedure to quantify methane recovery via the GERE platform, without specific information on how individual SWDS determine that data. During the review the Party indicated that SWDS operators must declare the method used to determine recovery: measurement, calculation or estimate. In the French inventory, only the quantities of methane measured and calculated are considered. In the 2019 CRF Table 5A, 43 per cent of the CH4 flared and 42 per cent of the CH4 utilised are based on calculations. The ERT noted that it is unclear how individual SWDS calculate methane recovery and what assumptions are made in order to do so. The 2006 IPCC Guidelines (Vol 5, chapter 6, p. 3.19) indicate that methane recovery should be based on metering of all gas recovered for energy and flaring or monitoring of the produced amount of electricity from the gas.	The ERT recommends improving overall QA/QC of methane recovery from SWDS, to ensure that the requirements on quantification of energy recovery in the IPCC Guidelines (Vol 5, chapter 6, p. 3.19) are met and to report on the QA/QC improvements implemented in its next submissions. The ERT also recommends the Party to perform short-term consolidation/improvement activities for the next submission of the NIR: •Investigation works by contacting the SWDS declaring the recovery of biogas in order to consolidate the data declared on the GERE platform; •SWDS by SWDS clarifying what is the "calculation" method and so getting documentation on these calculation methods; •Identifying SWDS where the calculation approach is not based on relevant methods to remove their recovery from the national inventory or justifying its inclusion demonstrating the great care applied, by substantiated assumptions The ERT recommends the Party to report in its next submission the progress made on these short-term activities, e.g. a list of SWDS, whose methane recovery is reported to be calculated, along with its calculation method and a motivated decision by the inventory team, why the calculated recovery is included in the quantification of methane recovery at SWDS. This list can be a confidential Annex to the NIR but made available for review with proper confidentiality arrangements (see also the 2006 IPCC-Guidelines, Vol 5, chapter 6, p. 3.28, that indicates that if CH4 recovery is reported, an inventory of known recovery facilities is desirable).	2021 Review PMF* / W.18	Implemented. France initiated this process a few months ago in winter 2021. The SWDS declaring calculation approach for the flow and / or the CH4 content of the recovered / flared biogas were contacted (with the ministry in copy of the emails). In all feedbacks, the "calculation" declarations corresponded in fact to average calculations of measurements. We will continue the investigation for the only 15 plants that did not yet provide feedback. France reports on this investigation for transparency issue in the NIR submissions 2022. At the same time, an exchange with the related professionals in this sector was initiated, in particular to best declare	
Waste	5.A.1 Managed waste disposal sites – CH4 Transparency	The Party reported in its NIR (p. 682) their procedure to quantify methane recovery. The ERT noted that Eurostat data on energy generation from landfill gas might be used to validate the reported amount of gas used for	The ERT recommends the Party to evaluate whether a comparison of CRF and Eurostat data (or another independent data-source) can be used to verify CH4 for energy recovery and to report on the outcome of the evaluation and how this evaluation explains the difference between CRF data and Eurostat data in its next submission. Such an evaluation should also serve to explain a difference between both.	2021 Review PMF* / W.19	Ongoing improvement. A discussion with the services of the Ministry concerned will be initiated.	
KP-LULUCF	Select category – add gas(es) Transparency	The Party reported in its NIR (p Tables 182 and 190) that the amount of living biomass is set to 0 for land use conversion, based on following hypothesis: (in French) par définition, les cultures annuelles ne contiennent pas de végétation autres que la strate herbacée. Le stock de carbone sur cette strate est comptabilisé comme nul. La valeur du Giec (2006, vol 4, Chap 6, p.6.27) [672] donnant 4,7tC/ha – ou la valeur du Giec (2006, vol 5, Table 5.9) donnant 5 tC/ha n'est pas utilisée faute de donnée sur sa pertinence pour la France. The ERT noted that this is not in accordance with the 2006 IPCC Guidelines because the 2006 GL states for estimating C stock for living biomass that it shall include foliage (table 1.1) and 2006 GL says 5 tC/ha. The ERT recognizes that the guidance from 2006 are not clear on this, but indicates that it is better formulated in Ref 2019. For CL remaining CL this has no effect on the emission but for LUC it may means a difference. The BEF values for FL include "foliage" so when you make A you include C in leaves but you do not take the loss from the missing C stock in the land where it came from. Therefore, this loss should be included as well as a gain when land	The ERT encourages the Party to adhere to the IPCC Guidelines or to provide country quantitative data which corroborates the decisions taken.	2021 Review PMF* / KL.21	Country quantitative data not implemented. Explanations have been added to the NIR. According to us, IPCC guidelines (including 2019 refinements) do not provide enough explanations and reliable default values for non woody biomass for all land uses, which justifies our assumption to neglect this non woody pool for all activities. We consider that ΔC conversion for afforestation = 0 tC/ha/y; and ΔC_G = 0 tC/ha/y for deforestation. Non woody biomass is consistently neglected both in forest and other land uses.	

* Draft Report on the individual review of the annual submission of France submitted in 2021 (provisional main findings)

Annexe 10

Fichiers informatiques relatifs au texte

Le rapport intégral est disponible sur le site web du Citepa :

<https://www.citepa.org/fr/ccnucc/>

Le support informatique éventuellement joint au rapport contient les éléments suivants :

1 - Rapport CCNUCC :

Le fichier "CCNUCC_France_2022.pdf" contient le corps du texte et les annexes à l'exclusion des tables du CRF.

2 - CRF Kyoto :

Les fichiers "FRK_2022_XXXX.xls" contiennent les tableaux de données pour la France selon le périmètre KYOTO au format CCNUCC/CRF relatifs à chacune des années considérées. Les caractères « XXXX » du nom correspondent à l'année de référence (exemple FRA_2022_1990.xls pour l'année 1990). Chaque fichier comporte 71 feuillets, qui correspondent aux tableaux définis dans le CRF. Dans le rapport, seuls sont reproduits les tables « résumés » dans l'annexe 7 pour les années 1990, 2019 et 2020.

Compléments spécifiques au CRF REPORTER.

Le fichier XML du CRF Reporter est joint ainsi que la base de données correspondante.

3 - Compléments CRF France:

Les fichiers « FRA_2022_XXXX.xls » contiennent les tableaux de données pour la France entière (Métropole et Outre-mer) au format CCNUCC/CRF relatifs à chacune des années considérées. Chaque fichier comporte 71 feuillets, qui correspondent aux tableaux définis dans le CRF. Dans le rapport, seuls sont reproduits les tables « résumés » dans l'annexe 8 pour les années 1990, 2019 et 2020.

Compléments spécifiques au CRF REPORTER.

Les fichiers XML du CRF Reporter sont joints incluant les bases de données correspondantes.

4 - 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, pour toute la période de l'inventaire.

5 - Recalculs :

Le fichier « Recalculs-d.xlsm » contient les recalculs entre les deux dernières éditions de l'inventaire, à différents niveaux du CRF et pour toute la période de l'inventaire.

6 - 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 CRF mais ce fichier offre une résolution très élevée.

Références

- [1] Ministère de l'Ecologie / CGDD / SDES et anciennement Observatoire de l'Energie - Les bilans de l'Energie (données non corrigées du climat). Communication annuelle
- [2] Aide mémoire du thermicien - Edition 1997 - Elsevier
- [3] CITEPA - Combustion et émission de polluants - Monographie n°39 - 1984
- [5] IPCC - Guidelines 1996 - Volume 2 - section I.8 - table 1- 4
- [6] CITEPA - Nouveaux combustibles - Monographie n°49 - 1986
- [7] MEDD - D. BELLENOUE - Note « Evolution des flux de dioxines et plomb émis par les aciéries électriques » - août 2001
- [8] ATILH - Note du comité de suivi de l'industrie cimentière - Novembre 2002
- [9] IPCC - Revised 1996 Guidelines for National GHG Inventories : Workbook - section I.6
- [10] Ministère de l'Environnement - Données internes
- [11] EDF - Données internes
- [12] ATIC - Données internes
- [13] UFIP - Données internes
- [14] CPDP - Pétrole (publication annuelle)
- [15] Chambre Syndicale du Raffinage du Pétrole - Spécifications des produits pétroliers
- [16] MEET 1997
- [17] EMEP / CORINAIR Guidebook
- [18] CITEPA - Facteurs d'émission du protoxyde d'azote pour les installations de combustion et les procédés industriels, Etude bibliographique - S. CIBICK et J-P. FONTELLE - 2002
- [19] DRIRE / DREAL - Déclarations annuelles des émissions de polluants
- [20] EDF - Données internes
- [21] SNET puis Eon - Données internes
- [22] Ministère de l'Environnement - Circulaire du 24 décembre 1990
- [23] SOeS, (ex Observatoire de l'Energie) - Tableaux des consommations d'énergie (publication annuelle)
- [24] Observatoire de l'Energie - Données internes
- [25] Service statistique du Ministère en charge de l'environnement - SDES (ex SOeS et ex Observatoire de l'énergie) - Données nationales transmises à l'AIE et à EUROSTAT
- [26] Ministère de l'Industrie, de l'Economie et des Finances (INSEE et anciennement SESSI) et Ministère de l'Agriculture (SCEES puis SSP) - Enquête annuelle sur les consommations d'énergie dans l'industrie (EACEI)
- [27] Fédération française de l'Acier / A3M (Alliance des Minerais, Minéraux et Métaux) - Données internes
- [28] ATILH - Statistiques énergétiques annuelles de la profession cimentière
- [29] Gaz de France - Données internes

- [30] CDF - Données internes
- [31] Ministère chargé des Transports - Rapport annuel de la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN)
- [32] ADEME - Inventaire des installations de traitement des déchets (enquête périodique ITOM)
- [34] Ministère de l'industrie, puis de l'Ecologie - DGEMP puis SOeS puis SDES - Production et distribution d'énergie électrique en France (publication annuelle)
- [35] ENERCAL - Société néo-calédonienne d'énergie - Données internes
- [36] Electricité de Tahiti - Données internes
- [37] Electricité et eau de Wallis et Futuna - Données internes
- [38] EDM - Electricité de Mayotte - Données internes
- [39] CITEPA - Inventaire des grandes installations de combustion en application des directives 88/609 et 2001/80/CE
- [40] Zderek Parma & all. - Atmospheric Inventory Guidelines for Persistent 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'Equipeement, des Transports et du Logement - DAEI - Le marché des véhicules, immatriculations et parcs au 1er janvier (publication annuelle)
- [56] ARGUS - Numéro annuel spécial statistiques
- [57] FIEV / CSNM - Statistiques sur le motocycle en France
- [58] INRETS - BOURDEAU B. - Evolution du parc automobile français entre 1970 et 2020 - 1998
- [59] AEE - COPERT III - SAMARAS Z. & all. - Methodology and Emission Factors, 2000
- [60] Ministère chargé des Transports - Rapports annuels de la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN)

- [61] Ecole des Mines de Paris - PALANDRE L., BARRAULT S., CLODIC D. - Inventaire et prévisions des fluides frigorigènes et de leurs émissions (mise à jour annuelle)
- [62] CITEPA - SAMBAT S. & all. - Inventaire des émissions de particules primaires - 2001
- [63] MINEFI - DIDEME - Données internes non publiées
- [64] USIRF - Données internes à la profession relatives à la production d'enrobé routier
- [65] ADEME - Le chauffage domestique au bois, approvisionnement et marchés. Mars 2000
- [66] EPA - AP 42 Compilation of air pollutant emission factors, January 1995
- [67] CITEPA - ALLEMAND N. - Estimation des émissions de polluants liées à la combustion du bois en France. Mars 2003
- [68] OFEFP - Mesures pour la réduction des émissions de PM10. Document environnement n° 136, juin 2001
- [69] INSTITUT D'EMISSION D'OUTRE-MER (IEOM) - Rapport annuel
- [70] CITEPA - BOUSCAREN R. - Inventaire des émissions dans l'atmosphère de métaux lourds et de composés organiques persistants en France en 1990. Août 1996
- [71] SAMARAS Z. & ZIEROCK K-H. - The estimation of other mobile sources and machinery. May 1994
- [72] PROMOJARDIN - Données professionnelles internes
- [73] GIGREL - Données professionnelles internes
- [74] EMEP MSC EAST - Note technique 6/2000
- [75] AFME - CEMAGREF - Consommation de carburant des tracteurs agricoles - Février 1990
- [76] ARMEF - Les ventes de matériel d'exploitation forestière en France de 1968 à 1992 - Avril 1993
- [77] ARMEF - Etat du parc des machines d'exploitation forestière en région Lorraine, Février 1993
- [78] CITEPA - Carbonisation du bois et pollution atmosphérique - Monographie n° 48, 1986
- [79] TNO - Particulate matter emissions (PM10 - PM2.5 - PM0.1) in Europe in 1990 and 1993 -February 1997
- [81] EPA - Reconciling urban fugitive dust emissions inventory and ambient source contribution estimates : summary of current knowledge and needed research - Desert Research Institute - May 2000
- [82] UBA - Etude sur la répartition granulométrique (< PM10, < PM 2.5) des émissions de poussières - février 1999
- [83] MINEFI - Observatoire de l'Energie - Données communes des bilans de l'énergie communiquées à l'AIE et à EUROSTAT
- [84] CEPIL - Harmonisation des statistiques énergétiques nationales pour le calcul des émissions de CO2 de la France - KOUSNETZOFF N. et CHAUVIN S. - Juin 2003
- [85] SCEES - AGRESTE, Statistique agricole annuelle
- [86] SCEES - AGRESTE, Statistique agricole annuelle et production agricole finale, DOM
- [87] ECETOC - Ammonia emissions to air in Western Europe, July 1994
- [88] GIEC - Guidelines 96 - Vol. 2 - section 4
- [89] INRA - VERMOREL, Emissions annuelles de méthane d'origine digestive par les bovins en France, 1995
- [90] UNIFA - Les livraisons de fertilisants minéraux en France - Publication annuelle

- [91] AGENCE DE L'EAU - Données internes fournies annuellement
- [92] CITEPA - PAJOT K., GABORIT G. FONTELLE J-P. - Estimation annuelle des émissions de COVNM des sources biotiques dans la basse atmosphère en France (modèle COBRA) - Mai 2003
- [93] EPA - National Technical Information Service - Gap filling PM10 emission factors for selected open area dust sources, February 1988
- [94] SAMARAS Z., ZIEROCK K.H. - Guidebook on the Estimation on the Emissions of Other Mobile Sources and Machineries - Université de Thessalonique, 1994
- [96] INSEE - Statistiques démographiques annuelles (www.insee.fr)
- [103] AEAT - source apportionment of airborne particulate matter in the UK (70 to 96, PM10 - PM2,5 - PM0,1), third report of the quality of urban air review group, January 1999
- [104] SNCF - Mission environnement
- [105] OFEFP/OFEV - Banque de données off-road
- [106] AEAT - UK Particulates and heavy metal emissions from industrial processes, February 2002
- [107] BICOCHI S., L'HOSPITALIER C. - Les techniques de dépoussiérage des fumées industrielles, état de l'art - RECORD, éditions TEC et DOC, mars 2002
- [108] Confédération Nationale de la Boulangerie - PARIS
- [109] CITEPA - Monographie N° 54 - Les émissions atmosphériques de COV lors de l'élaboration du vin, 1987
- [110] B. GIBSON et al. - VOC emissions during malting and beer manufacture - Atmospheric Environment Vol. 29, No. 19, 1995
- [111] FIPEC - Données statistiques sur les consommations de peinture, encres, etc.
- [112] CEPE - Communication dans le cadre d'EGTEI, 2003
- [113] ECSA - European Chlorinated Solvent Association - Solvent digest, 1991 et 1995
- [114] CTTN - Centre Technique de la Teinture et du Nettoyage (données de la profession)
- [115] SPMP - Rapport annuel, les matières plastiques en chiffres
- [116] SNCP - Syndicat National du Caoutchouc et des Polymères - rapports annuels d'activité
- [117] SICOS - Données de la profession
- [118] UIC - Rapport annuel sur l'évolution de l'industrie chimique en France
- [120] SNCP - Rapports annuels d'activité
- [121] CITEPA - Final EGTEI document - Polystyrene processing, 2003
- [122] IFARE - Task force on assessment of abatement techniques for VOC from stationary sources, May 1999
- [123] FIPEC pour le compte de l'ADEME - Emissions de COV dans la production de peintures, vernis, encres d'imprimerie, colles et adhésifs, 1997
- [124] PROLEA - statistiques annuelles
- [125] FICG / ADEME / MEDD - Données relatives aux taux d'équipement des presses offset en incinérateurs, 2003
- [126] LEVY C., DUVAL L., FONTELLE J-P., CHANG J-P. - Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère d'une zone aéroportuaire à l'exception des aéronefs - CITEPA, 1999-2003

- [127] DGAC - données relatives aux liaisons domestiques et internationales
- [128] OACI - caractéristiques sur les moteurs et guide sur les APU 2007
- [129] DGAC - fichier « bruit » de Roissy
- [130] DGAC - données internes
- [131] DGAC - données internes relatives à AIR FRANCE
- [132] DGAC - Bulletin statistique annuel
- [133] CITEPA - DANG Q.C. - Tentative d'estimation des émissions de polluants atmosphériques dues au trafic maritime en Méditerranée Occidentale, Janvier 1993
- [134] GIEC - Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 2000
- [137] CEE-NU, AIE, EUROSTAT, OCDE - Energy statistics working group meeting, special issues Paper 8, Net calorific values - novembre 2004
- [139] Arrêté du 28 septembre 2005 modifiant l'arrêté du 17 janvier 2001 relatif aux contrôles des émissions de gaz polluants et de particules polluantes provenant des moteurs destinés à la propulsion des tracteurs agricoles et forestiers (JO du 26 octobre 2005)
- [140] Arrêté du 22 septembre 2005 relatif à la réception des moteurs destinés à être installés sur les engins mobiles non routiers en ce qui concerne les émissions de gaz et de particules polluantes (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 polluantes provenant des moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers
- [142] UBA-Entwicklung eines Modelis zur Berechnung der Luftschadstoffemissionen und des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren in mobilen Geräten und Maschinen - Jan. 2004
- [143] UNIFA - Union des industries de la fertilisation - communication personnelle de données
- [144] CITEPA - Etude documentaire n°53 décembre 1977 page 310
- [145] OFEFP édition 1995 page 115
- [146] AFNOR - référentiel de bonnes pratiques BP X 30-331
- [147] Rhodia PI Chalampé - Données confidentielles communiquées par le site
- [148] AFNOR - Référentiel de bonnes pratiques BP X 30-330
- [149] Rhodia PI Chalampé - Communication personnelle de données - confidentiel
- [150] Dossier d'engagement AERES - site de Cuise-Lamotte - CLARIANT
- [151] AFNOR - Référentiel de Bonnes Pratiques BP X 30-332
- [154] INESTENE, Eléments de base pour une prospective des émissions totales de particules primaires à l'horizon 2030, août 2001
- [155] IPCC Good Practices Guidance, Chapitre 5
- [156] ADEME, Département Déchets, Evaluation des émissions de méthane des décharges de déchets ménagers et assimilés, E. Prud'homme, Février 1999.

- [157] ADEME, données internes communiquées par le département Déchets
- [158] DRIRE des DOM et des TOM - données internes, multi annuel
- [159] Charbonnages de France - données internes sur les émissions de CH₄, multi annuel
- [160] INERIS, Evaluation des quantités de méthane rejetées dans l'atmosphère par les mines françaises de charbon et de lignite, décembre 1991
- [161] IPCC Good Practices Guidance, Chapitre 2.7.1
- [162] LECES Evolution des métaux lourds et composés organiques persistants en sidérurgie, 1996
- [163] UK fine particulate - Emissions from industrial processes, août 2000
- [165] Ministère de l'Economie et des Finances, statistiques 97/98 de l'industrie gazière en France
- [167] MINEFI / DIREM (ex-DIMAH) - données internes non publiées annuelles sur les bilans énergétiques de l'Outre-mer y compris les PTOM
- [168] CPDP - données internes sur les caractéristiques des dépôts pétroliers
- [169] Arrêté du 4 septembre 1986 relatif à la réduction des émissions atmosphériques d'hydrocarbures provenant des activités de stockage
- [170] Arrêté du 8 décembre 1995 relatif à la lutte contre les émissions de composés organiques volatils résultant du stockage de l'essence et de sa distribution des terminaux aux stations-service
- [171] IFARE - Elaboration de fonctions de coûts pour la réduction des émissions de COV en France, Tome II, 1999
- [172] Décret 2001-349 du 18 avril 2001 relatif à la réduction des émissions de COV liées au ravitaillement des véhicules dans les stations service
- [173] Observatoire de l'Energie - La récupération des vapeurs d'essence en stations-service, 1993
- [174] MINEFI / DIDEME - données internes sur les stations-service, 2003
- [175] MEDD / DPPR / SEI - données internes sur les stations-service, 2003
- [176] ALLEMAND N. - Gasoline distribution - service stations, background document EGTEI, 2003
- [177] ALLEMAND N. - Evolution des émissions de polluants du trafic routier en 2010 et 2020, CITEPA 2004
- [178] EGTEI - travaux pour la détermination des coûts de la réduction des émissions. Scénario France en 2004 pour la première consultation bilatérale
- [179] INSEE - Tableau économique de Mayotte, 2001
- [180] ITSTAT - Les tableaux de l'économie polynésienne, 1998
- [181] Communication personnelle de R. Ballaman (OFEFP), septembre 2002
- [182] BUWAL - PM10 - Emissionen des Verkehrs ; Statusbericht Teil Schienenverkehrs, ed. 2002
- [183] CITEPA - IER - Study on particulate matter emissions : particle size distribution chemical composition and temporal profiles - Interreg III for ASPA, January 2005
- [184] Routes de France, anciennement USIRF (Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française) - Consommation annuelle de bitume routier. Communication en 2006
- [185] USIRF (Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française) - Données internes confidentielles transmises en 2001 et 2003

- [186] Ministry of Housing, physical planning and environment - Handbook of emission Factors - Industrial Sources - 1984
- [188] AER - Facteurs d'émission pour certains polluants organiques persistants : PCB, HAP, HCB et PCP, octobre 2004 (rapport pour CITEPA, non publié)
- [189] UNFCCC - paragraphe 16 de l'annexe à la Décision 11CP7
- [190] Chambre Syndicale Nationale des Fabricants de Chaux Grasses et Magnésiennes - Statistiques annuelles de production de chaux grasses (aériennes) et magnésiennes
- [194] Chambre Syndicale Nationale des Fabricants de Chaux Grasses et Magnésiennes - Données communiquées au CITEPA en septembre 2003
- [195] ATILH - Données annuelles sur les émissions de l'ensemble des sites de chaux hydraulique
- [196] Données annuelles de production nationale des installations de production de chaux hydraulique fournies par l'ATILH (confidentielles)
- [197] MAP/SCEES - Publications Agreste. "L'utilisation du territoire".
- [198] MIES - Rapport déterminant la quantité attribuée conformément à l'article 8, paragraphe 1, point d), de la décision n°280/2004/CE dans le cadre de la préparation de la 1ère période d'engagement du Protocole de Kyoto, 2006
- [199] GIEC - Guide sur les Bonnes Pratiques pour l'UTCF, 2003
- [200] MAP / SCEES - Publications annuelles Agreste « Récolte de bois et production de sciages »
- [201] INESTENE - Le bois énergie en France
- [202] IGN/IFN - Données spéciales d'après l'inventaire terrain
- [203] INRA - Stocker du carbone dans les sols agricoles de France, octobre 2002
- [204] GICC 2001 - Gestion des impacts du changement climatique, rapport CARBOFOR, juin 2004
- [206] Compte rendu de l'Académie d'Agriculture de France - Vol. 85, n° 6, 1999
- [207] Centre Efficacité énergétique des Systèmes de l'Ecole des Mines de Paris - Inventaire annuel des émissions des fluides frigorigènes en France jusqu'en 2016
- [209] GIFEX - communication de données internes
- [210] CFA - Comité Français des Aérosols - communication annuelle de données internes
- [212] Promosol - Communication de données internes
- [213] SITELESC - Communication de données internes annuelles
- [214] GIMELEC - syndicat des fabricants d'équipements électriques - communication annuelle de données au ministère chargé de l'environnement
- [215] RTE - Réseau de Transport d'Electricité - communication de données internes et le rapport annuel « Développement durable »
- [216] Nike - communication de données
- [217] 3M - communication annuelle de données internes
- [218] SFIC (Syndicat Français de l'Industrie Cimentière) - données annuelles de production de clinker et de ciment

- [222] Données internes à Rio Tinto Alcan.
- [223] Société de l'industrie minérale - Annuaire Statistique Mondial de Minerais et Métaux. Publication annuelle
- [224] Fédération française de crémation - Données statistiques
- [227] Bennet R.L. and Knapp K.T. - Characterization of particulate emissions from non-ferrous smelters - JAPCA, February 1989, vol. 39, number 2, page 169
- [228] AIRPLUS n° 32/33, Novembre 2001, page 12
- [231] Agences de l'eau (ADOUR-GARONNE, RHÔNE-MEDITERRANEE-CORSE, RHIN-MEUSE, ARTOIS-PICARDIE, LOIRE-BRETAGNE, SIAAP)
- [232] IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volumes 2 et 3, sections agriculture, 1996
- [233] INSEE - Bulletins mensuels de statistique
- [234] IFEN - Les données de l'environnement, 1999, 2002 et 2004
- [235] CEMAGREF - Communications de M. Duchêne, 2002.
- [236] GIEC - Guide des Bonnes Pratiques 2000, Chapitre 5, pages 5-14,5-15,5-16
- [237] ADEME / CTBA - Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets, 2006
- [238] GIEC - Guidelines 1996 - Volume 3 section 2.3
- [239] ATILH - Mode d'obtention des données annuelles sur les émissions de CO2 et moyens de contrôle de ces valeurs d'émission, novembre 2002
- [240] Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du Verre - Communication de données internes
- [241] FFTB (Fédération Française des Tuiles et Briques) - Statistiques annuelles
- [242] CTTB (Centre Technique des Tuiles et Briques) - Données internes
- [243] Infochimie - numéros « spécial usines » et numéros divers selon les années
- [244] GIEC - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 2 - Edition 1996 page 2.8
- [245] MEDD - Principaux rejets industriels en France, années 1999 à 2001
- [250] KLEEMAN M.J., SCHAUER J.J., CASS G.R. - Size and composition distribution of fine particulate matter emitted from wood burning, meat charbroiling and cigarettes, Environmental Science and Technology, vol 33, 1999
- [251] Confédération des Industries céramiques de France - Chiffres clés de la profession - statistiques annuelles (confidentielles)
- [253] Syndicat général des fondeurs de France - Chiffres clés de la fonderie française et contact interne
- [254] OCDE - Environment directorate, Greenhouse gas emissions and emissions factors - May 1989
- [255] IPCC revised 2006 guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, V_3.3 Ch3 Chemical Industry, 3.6 Carbide production, page 3.44
- [256] ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell' Ambiente - PM10 emission inventory for 1994 in Italy, liacqua, e-mail contact, octobre 2000
- [257] COPACEL - Communication de Philippe BRULE lors de la préparation du PNAQ, 2005
- [261] ADEME - Centre de Valbonne - Données internes 2001 et 2004 relatives aux déchets hospitaliers

- [262] BRUN M.J. et LEFORESTIER C. - Valorisation énergétique des déchets industriels et hospitaliers, Institut français de l'énergie (IFE), ENERGIRAMA, janvier 1991
- [263] Ministère chargé de l'environnement - L'évolution récente des émissions de dioxines dans l'atmosphère, Octobre 2000
- [264] ADEME - dossier « Emballages vides de produits phytosanitaires (EVPP) » sur www.ademe.fr, 2003
- [265] IPCC - Guidelines 96, Volume 2, page 4.35
- [267] USIRF - Evolution du parc de centrales, Octobre 1998
- [268] IPCC - Revised 1996 Guidelines - Workbook, page 5.37, worksheet 5.51, sheet 3/4
- [272] INSEE - Annuaire rétrospectif de la France - 1948 - 1988
- [273] ATILH - Communication spécifique relative aux facteurs d'émission de métaux lourds et de particules, août 2006
- [275] SERVEAU L., FONTELLE JP. - Document d'application relatif aux émissions atmosphériques des installations de production d'enrobés (confidentiel). CITEPA, avril 2006
- [276] ADEME - Détermination de la granulométrie des aérosols dans les émissions diffuses d'ateliers sidérurgiques : PM10, PM2,5, PM1,0 et PM0,1 - janvier 2004
- [279] MEDD - Compilation annuelle des émissions de métaux lourds et dioxines émis par les UIOM
- [280] INERIS, "Inventaires et facteurs d'émission de dioxines UIOM", rapport provisoire n°4
- [281] Projet TOCOEN (Toxic Organic COmpounds in the ENvironment), Masaryk University, Mars 1993
- [282] Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP), communication personnelle, octobre 2006
- [283] Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activité de soins à risques infectieux
- [284] Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux
- [285] ADEME - Evaluation comparative actuelle et prospective des émissions du parc d'appareils domestiques de chauffage en France (document confidentiel), Septembre 2005
- [286] Arrêté du 28 juillet 2005 relatif à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre
- [289] Danish Budget for Greenhouse Gases, 1990
- [292] IFN - Inventaire des surfaces forestières par département, surface par essence, mise à jour annuelle
- [293] RENECOFOR (REseau National de suivi à des ECOsystèmes FORestiers) - Communication annuelle de données de températures diurnes et nocturnes
- [294] GUENTHER A-B - Seasonal and spatial variation in natural volatile organic compound emissions. Ecological Application, 1997, vol. 7, pp 34-45
- [295] LAMBERT - Influence du climat et de la disponibilité en azote sur la croissance printanière du ray-grass anglais. 2001, Université catholique de Louvain - Faculté des sciences agronomiques - Laboratoire d'écologie des prairies.
- [296] CITEPA - Logiciel COBRA version 2002 (Composés Organiques de la Biomasse Rejetés dans l'Atmosphère)
- [297] PROMETHEE - Base de données sur les incendies en zone méditerranéenne sur www.promethee.com

- [298] Ministère de l'Agriculture (MAP), Dossier de presse « Prévention des incendies de forêt », www.agriculture.gouv.fr,
- [299] METEO FRANCE - Données Meteorage (incrémentation permanente)
- [300] ATILH - Communication de M. Fauveau du 11 octobre 1999 relative aux émissions de PCDD/F pour 1996
- [301] FRABOULET I. - INERIS - Aerosol size distribution determination from stack emissions : the case of a cement plant, DUST CONF, Maastricht, April 2007
- [303] Témoignages, mercredi 11 juillet 2007, p 10,
- [304] Tout sur la France, n° 4, octobre 2007
- [307] Ministère de l'Ecologie du développement et de l'Aménagement Durables (site Internet www.ecologie.gouv.fr rubrique « biodiversités et paysages »), 2007
- [310] FNADE - Compte rendu du groupe de travail EPER sur l'incinération, juin 2006
- [311] HUGREL C., JOUMARD R. - Transport routier - Parc, usage et émissions des véhicules en France de 1970 à 2025, INRETS, Rapport LTE n° 0420, Septembre 2004
- [312] AEE - COPERT IV - Technical report N° 11/2006 - EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - Group 7: Road transport - 2006
- [318] INSEE - Tableau économique de la Réunion, chapitre transport routier
- [319] INSEE - Tableau économique de la Martinique, chapitre transport routier
- [320] INSEE - Tableau économique de la Guadeloupe, chapitre transport routier
- [321] INSEE - Tableau de l'économie calédonienne, chapitre transport routier
- [322] INSEE - Tableau économique de la Guyane, chapitre transport routier
- [323] LECES - Données communiquées par le Ministère de l'Environnement, courrier du 19 février 1996
- [325] CTBA / ADEME - La caractérisation des émissions atmosphériques d'un échantillon représentative du parc français de crematorium en vue d'une évaluation globale du risqué sanitaire, 2006
- [326] Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux
- [327] IFN - Suivi de l'occupation du sol et des changements d'occupation du sol en Guyane par télédétection satellitaire - Rapport final, janvier 2008
- [328] Guitet S., Blanc L., Chave J., Gomis A., 2006. Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l'inventaire national de gaz à effet de serre pour la forêt guyanaise. Convention n° 59.02. G 18/05 du 19/12/2005 entre le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche et l'Office National des Forêts - Direction régionale de Guyane. Rapport final, 81p.
- [329] CITEPA - Données internes résultant des divers audits (diagnostics et pré diagnostics) réalisés par le CITEPA
- [330] CONCAWE - Air pollutant emission methods for E-PRTR reporting by refineries, 2007
- [331] UIC - données internes à la profession fournies par M. DECROUTTE le 5 novembre 2007
- [332] ANPEA (Association nationale professionnelle pour les engrais et amendements) - Résultats enquête amendements basiques - <http://www.anpea.com/>
- [333] AGRESTE - Irrigation et matériel 2005, enquête structure 2005 et recensement agricole 2000 (disponible sur le site de l'Agreste <http://agreste.agriculture.gouv.fr/>)

- [334] GRDF - Communication annuelle des émissions nationales de CH₄ au CITEPA
- [335] ADEME - Second état d'avancement de la mise en conformité des UIOM, 2005
- [336] COLLET S. - HAP émis par la combustion du bois en foyers domestiques, INERIS, 2001
- [338] COLLET S.- Emissions de la combustion du bois par les foyers domestiques, INERIS, mai 2002
- [339] COLLET S. - Emissions de dioxines, furanes et d'autres polluants liés à la combustion du bois naturels et faiblement adjuvantés, INERIS, février 2000
- [340] EMEP / CORINAIR Guidebook, section B-810-23, Décembre 2006
- [341] COOPER D.A. - HCB, PCB and PCDD/F emissions from ships, Atmospheric Environment 39, Page 4908, Avril 2005
- [342] EMEP / CORINAIR Guidebook, section B-810-23, Décembre 2006
- [343] EMEP / CORINAIR Guidebook, section B-810-24, Décembre 2006
- [346] Determination of atmospheric pollutant emission factors at a small coal-fired heating boiler, AEAT, March 2001
- [347] COOPER D. - HCB, PCB, PCDD and PCDF emissions from ships, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, October 2004
- [348] Arrêté du 31 mars 2008 relatif à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre pour la période 2008 - 2012
- [349] EMEP / CORINAIR Guidebook, chapter « Source of PCB emissions », Décembre 2006
- [350] Determination of atmospheric pollutant emission factors at small industrial wood burning furnace, AEAT, March 2001
- [351] SESSI - Résultats annuels des enquêtes de branche
- [352] UNICEM - Rapport annuel statistique à partir de 1999
- [353] UNICEM - Communication de données internes, 2001
- [354] KEPLIS NE, APTE, MG, GUNDEL LA - Characterizing ETS emissions from cigars : chambers of nicotine, particle mass and particle size, 1999
- [355] PNUE - Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et la quantification des rejets de dioxine et furanes, Février 2005
- [356] Observatoire français des drogues et des toxicomanies (OFDT) - Séries statistiques annuelles « Vente de tabac et cigarettes - évolution depuis 1990 »
- [357] TNO - Technical paper to the OSPARCOM - HELCOM - UNECE emission inventory, report TNO-MEP R93/247, p26, 1995
- [358] EMEP CORINAIR - 3rd emission inventory guidebook, Chapter "Sources of PCB emission", December 2006
- [359] GIEC 2006 - Biological Treatment of Solid Waste, Vol. 5, p 4.4
- [360] MEEDDAT/DGEC - L'industrie pétrolière - Note annuelle sur les données des produits pétroliers
- [361] ECOBILAN / ADEME - Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants, PCW 2002, Novembre 2002

- [362] VERMOREL M., JOUANY J.P., EUGENE M., SAUVANT D., NOBLET J, DOURMAD J.Y. - Evaluation quantitative des émissions de méthane entérique par les animaux d'élevage en 2007 en France. INRA prod. Anim., 2008, 21 (5), 403-418.
- [363] SOLAGRO - Communication personnelle de M. Couturier du 2 août 2002
- [364] Syndicat National des Industries du Plâtre - communication de données internes relatives à la production annuelle
- [366] ADEME - Communications personnelles de MM. Bajeat et Charre du relatives au taux de captage dans les décharges, 2002, 2009
- [368] ADEME - Campagnes MODECOM (1993, 2007, 2017)
- [371] EMEP / EEA Guidebook 2009, Chapter 6Cb « Industrial waste incineration, page 10/20
- [372] INERIS - Caractérisation des biogaz- bibliographie - mesures sur sites, 2002
- [373] GIEC 2006 - Traitement biologique des déchets solides, Volume 5, chapitre 4
- [374] GIEC 2006 - Traitement et relargage des eaux usées, Volume 5, chapitre 6
- [375] IFEN - Base de données EIDER, Rejets dans l'eau des principaux émetteurs industriels
- [376] Décret n°2005-185 du 25 février 2005 relatif à la mise sur le marché des bateaux de plaisance et des pièces et éléments d'équipement
- [377] BRGM/DPSM - Bilan méthane après-mines dans les bassins houillers français à partir de 2004, multi annuel
- [378] ADEME - La pollution des sols liée aux activités de préservation du bois - 1998
- [379] GIEC - Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapitre 2, page 2.20
- [380] EURELECTRIC - European Wide Sector Specific Calculation Method for reporting to the European Pollutant Release and Transfer Register, January 2008
- [381] ERDF - Electricité Réseau Distribution France - rapport annuel « Développement Durable »
- [382] IFN - Suivi de l'occupation du sol et des changements d'occupation du sol en Guyane par télédétection satellitaire - Premiers résultats transmis le 16/11/2009
- [383] IFN - Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 1 - Guadeloupe - Rapport final août 2009
- [384] IFN - Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 2 - Martinique - Rapport final août 2009
- [385] IFN - Suivi de l'utilisation des terres sur trois départements d'Outre-mer insulaires : 3 - Réunion - Rapport final août 2009
- [386] ONF - Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l'inventaire national de gaz à effet de serre pour les forêts de la Guadeloupe, de la Martinique et de la Réunion - Rapport final novembre 2008
- [387] L'officiel du cycle, de la moto et du quad - Numéro annuel spécial statistique
- [388] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook - Group 7: Road transport - May 2009
- [389] TAAF - www.taaf.fr, 2009
- [390] JOST C. - www.clipperton.fr

- [391] GIEC - Guidelines 2006, Chapter 2, Pages 2.17 and 2.18, Table 2.3 stationary combustion in manufacturing industries and construction
- [392] OFEFP - Coefficients d'émission des sources stationnaires, édition 2000, page 145
- [393] EMEP / CORINAIR Guidebook, Edition septembre 1999, page B4611-6
- [395] EPA - AP42. Janvier 1995, page 11.16-8, table 11.16-4
- [396] CONCAWE - Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries, 2009
- [397] GIEC - Guidelines 2006, Chapter 2, Pages 2.15 and 2.16, Table 2.2 stationary combustion in the energy industries
- [398] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook, Partie 1A2, table 3-24, May 2009
- [399] ATILH - données internes communiquées le 28 octobre 2005 relatives à l'estimation du facteur d'émission de NH3 dans les cimenteries
- [400] I.E.O.M. Institut d'Emission d'Outre Mer, rapport annuel
- [401] I.E.D.O.M. Institut d'Emission des Départements d'Outre-mer, rapport annuel
- [402] Observatoire Energie Réunion - Bilan énergétique île de Mayotte, année 2008, édition 2009
- [403] DIMENC - Bilan de l'énergie de Nouvelle-Calédonie 2007 à 2009 + coefficients de conversion
- [404] Elf Aquitaine - Communications personnelles chaque année
- [405] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2009, Technical report No 9/2009 - chapter 11.A Volcanoes
- [406] <http://www.volcano.si.edu/>
- [407] OFEFP - Coefficients d'émission des sources stationnaires, édition 2000, page 90
- [409] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook, Part 1A2, table 3-26, May 2009
- [410] SSP - AGRESTE. Données téléchargeables sur : <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne>.
- [412] ADEME - Communication de M. Erwan AUTRET du 20 octobre 2009
- [413] IPCC - Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories - Background Papers - Annex 1 - Table 2 - CH4 default emission factors, 2000
- [414] EMEP/EEA - Emission Inventory Guidebook, Part B111(S1)-6, December 2006
- [415] SOeS - L'activité pétrochimique en France, Données 2005-2008, Chiffres & statistiques, Publication annuelle
- [416] GIEC - Guidelines for national greenhouse gases inventories », 2006, Vol. 3, chap. 7
- [417] FEDEM - Communication de données annuelles relatives à la consommation de plomb
- [418] E. TRUFFAUT - La fabrication du ferro-manganèse aux hauts-fourneaux en France, Soleils d'Acier, 2004
- [419] EMEP / EEA Guidebook - Chapter B111, page 55, 2006
- [420] ADEME - Les installations de traitement des ordures ménagères, résultats 2008
- [421] CEREN - Bilan national du bois de chauffage, pluriannuelle

- [422] Observ'ER : Synthèse annuelle du marché (anciennement SER - Brochure annuelle : le chauffage au bois domestique)
- [423] Directive européenne 2002/88/CE relative aux moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers
- [424] INRA INFOSOL - Données issues du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), 2009
- [425] GALY LACAUX C. - Modification des échanges de constituants mineurs liés à la création d'une retenue hydroélectrique : Impact des barrages sur le bilan de méthane dans l'atmosphère, 1996
- [426] ADEME/MEDDTL/DGPR - Performances de captage de biogaz de décharges, 2010[367] ADEME - Outil de calcul des émissions dans l'air de CH₄, CO₂, SO_x et NO_x issues des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, mars 2003
- [428] SOLAGRO - Note méthodologique : « Note d'estimation des gaz CH₄ - CO₂ - 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 2009 - secteur 1A1b - SNAP 010301/010302/010306 - FE NO_x - p 43 à 49
- [447] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2009 - secteur 1A1b - SNAP 010305 - FE NO_x - p 50 et 51
- [448] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2009 - secteur 1A1a - SNAP 010304 assimilée à SNAP 010104 et 010105 - FE NO_x - p 33 et 34
- [449] CONCAWE - Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries - 2009 edition, p 83
- [450] GIEC - Guide sur les Bonnes Pratiques, 2003, chapitre 2 « Energie », tableau 2.16, page 2.86, « Pétrole conventionnel »
- [451] EMEP EEA Emission Inventory Guidebook - May 2009, Section 1A4, table 3-28
- [452] INSEE - Publication annuelle - Les consommations d'énergie dans l'industrie
- [453] NERI - Heavy metal emissions for Danish road transport, technical report n° 780, 2010

- [454] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook -- Technical report N° 9/2009- 1.A.3.b Road transport (update June 2010)
- [456] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - Technical report N° 9/2009- 1.A.3.b.vi Road tyre and brake wear
- [457] Fédération des industries du verre - Rapport d'activité annuel
- [458] CITEPA - Etude comparative des rejets atmosphériques des principales énergies de chauffage - Avril 2003
- [459] EMEP / EEA Guidebook - édition 2016 - 1A4 Small combustion - FE pour le 1A4b residential (Tables 3-16, 3-19, 3-21)
- [460] Default emission factor Handbook 2nd edition - Janvier 1992 - Commission of european community
- [462] EMEP / CORINAIR Guidebook - Février 1996 - Section « Small consumers »
- [463] EMEP EEA Guidebook - Mai 2009 - Secteur 1A1 - Table 3-7 "Heavy fuel oil"
- [464] EMEP / CORINAIR Guidebook - Mai 2009 - 2A6 - Table 3-1
- [465] INSEE - Statistiques ProdFRA de 2008 à année N-1 - production de panneaux de particules (codes 1621131310 ; 1621122420 ; 1621135000 ; 1621131320)
- [466] Arrêté du 3 octobre 2010 relatif au stockage en réservoirs aériens manufacturés de liquides inflammables exploités dans un stockage soumis à autorisation au titre de la rubrique 1432 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement
- [467] Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction (CTMNC) - Données internes relatives à la composition des matériaux, 2011
- [468] CORPEN - Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux vaches laitières et à leur système fourrager. Influence de l'alimentation et du niveau de production. 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 α S1-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, Gyarmas 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 Culturelles 2000, 2005, 2011, 2017,
- [486] CITEPA - Méthodologie d'estimation des quantités de matière sèche et d'azote contenues dans les résidus de culture en France, 2013.
- [487] EMEP/EEA - 4B Crop production and agricultural soils, 2009
- [488] INERIS - Facteurs d'émission de polluants de feux simulés de déchets et de produits issus de la biomasse, 2011
- [489] ADEME - Enquête nationale sur la gestion des déchets organiques - septembre 2008
- [490] EMEP / EEA - Chapitre 4F Field burning of agricultural wastes, 2009
- [491] ARER/OER (Observatoire Energie Réunion) - Bilan énergétique de la Réunion, Chiffres clés, publication annuelle
- [492] DIMENC - Données internes du gouvernement de Nouvelle-Calédonie relative au bilan énergétique, 2011
- [493] IFN/FCBA/SOLAGRO - Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020, Novembre 2009
- [494] ANMF - Fiches statistiques
- [495] ANSES / AFSSA - Enquête INCA (Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires), 1999
- [496] ANSES / AFSSA - Enquête INCA2 (Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires), 2009
- [497] Direction générale des douanes - importation et exportation du carbure de calcium
- [499] Kreider et al. - Physical and chemical characterization of tire-related particles: Comparison of particles generated using different methodologies - Science of total environment, 2010, p 632-659
- [500] ADEME - Véhicules particuliers vendus en France. Evolution du marché, caractéristiques environnementales et techniques. Données et Références. Publication annuelle
- [501] MIQUEL G. - Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport n° 261 du Sénat, avril 2001
- [503] CORPEN - Estimation des rejets d'azote par les élevages avicoles. Groupe alimentation animale, sous-groupe aviculture, 1996
- [504] CORPEN - Estimation des rejets d'azote - phosphore - calcium - cuivre et zinc par les élevages avicoles. Mise à jour des références CORPEN - Volailles de 2006, 2012, 61p.
- [505] IFIP - GTE : Evolution des résultats moyens nationaux

- [506] Haras Nationaux - Chiffres Clés de la filière équine, 2011 -. <http://www.haras-nationaux.fr/fileadmin/bibliotheque/chiffres-2011-internet.pdf>
- [507] Haras Nationaux, 2012. Annuaire de la monte 2011 - Chiffres globaux, 2012 - http://www.haras-nationaux.fr/uploads/tx_dlcubeargus/chiffres_globaux_elevage.pdf
- [508] EUGENE M., DOREAU M., LHERM M., VIALARD 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 Résiduaire Urbaines, 05/03/2012
- [512] ADEME - ITOM : Les installations de traitement des ordures ménagères, résultats 2010
- [513] INERIS - Caractérisation des biogaz - Bibliographie - mesures sur sites, 2002
- [514] EPA - Background information Document for Updating AP42 section 2,4 for estimating Emissions from Municipal Solid Waste Landfills, 2010
- [515] ADEME - Communications personnelles, 2000-2002
- [516] ADEME - ITOM 6 : sixième inventaire des installations de traitement, de transit ou de mise en décharge de déchets ménagers et assimilés en France, 1995, p. 35
- [517] Syndicat national du charbon de bois - Données annuelles internes
- [518] Fédération nationale du bois - Données internes à partir de 2009
- [519] Environnement Canada - Division des gaz à effet de serre - " La production d'aluminium de première fusion - Guide pour l'estimation des gaz à effet de serre produits par des systèmes de combustion et des procédés industriels ", mars 2004
- [520] EReIE - Inventaires d'émissions de gaz fluorés dans le secteur d'activité des mousses d'isolation - résultats, novembre 2012
- [521] GSK - GlaxoSmithKline - communication annuelle de données internes
- [522] Arrêté du 22 septembre 2005 relatif à la réception des moteurs destinés à être installés sur les engins mobiles non routiers installés sur les engins mobiles non routiers
- [523] US EPA - AP42 Ch.11 - Mineral product industry & Ch. 13 - Miscellaneous sources, 1995.
- [525] Arrêté du 31 octobre 2012 relatif à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre pour sa troisième période (2013-2020)
- [526] Données fournies par des producteurs de sucre, juillet 2009
- [527] SNFS (Syndicat National des Fabricants de Sucre) - Données internes, octobre 2012
- [528] IPCC Guidelines for National Greenhouse Gases Inventories - 2006, Chapitre 4 : Metal Industry Emissions, p4.65
- [529] IPCC Guidelines for National Greenhouse Gases Inventories de 1996 - Page 2.7
- [530] BREF Fabrication des polymères, Août 2007 - Chapitre PVC - p. 107 et 108

- [532] SSP - Mémento Agreste Filière Forêt-Bois édition 2012
- [533] IGN - Communication personnelle, septembre 2012
- [534] ONF - Communication personnelle, septembre 2012
- [535] Chambre d'Agriculture de la Somme - Epandage des produits organiques, Cahier Technique, Annexe 2, Août 2010
- [536] CITEPA/MEDDE - Enquête auprès des exploitants d'ISDND sur les quantités de déchets stockés, 2012
- [537] ADEME - Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets, 2005
- [538] EMEP/EEA emission inventory guidebook 2016 - Chapitre 2.C.2 Ferroalloys production
- [539] USGS Minerals Information - Aluminium
- [540] Guide EMEP/EEA 2013 - Chapitre 2.C.3
- [541] <http://ledialoguesurlaluminium.com/laluminium/sa-fabrication/laluminium-de-première-fusion>
- [542] PULLES T. et al. - Emission factors for heavy metals from diesel and petrol used in European vehicles, Atmospheric Environment 2012, n° 61, pp 641-651
- [543] EMEP/EEA - Air Pollutant Emission Inventory Guidebook - Technical report N° 12/2013 - 1.A.3.b.vi Road tyre and brake wear
- [544] EMEP/EEA - Air Pollutant Emission Inventory Guidebook -- Technical report N° 12/2013 - 1.A.3.b Road transport
- [545] EEA - Données annuelles relatives à la surveillance des émissions de CO2 des véhicules particuliers en application du règlement 443/2009
- [546] Observatoire national interministériel de la sécurité routière - Bilans annuels de la sécurité routière en France
- [547] ANDRE M. et al. - Statistiques de parcs et trafic pour le calcul des émissions de polluants des transports routiers en France, rapport provisoire de l'IFSTTAR, 2013
- [548] MEDDE/CGDD/SOeS - Enquêtes annuelles sur le transport routier de marchandises (TRM)
- [549] MEDDE/CGDD/SOeS - Le transport collectif routier de voyageurs (publication annuelle)
- [550] MEDDE/CGDD/SOeS - Enquêtes sur l'utilisation des VUL (publication quinquennale depuis 1986)
- [551] MEDDE/CGDD/SOeS - Enquête sur l'utilisation des deux-roues motorisés, 2012
- [552] DOUANES - Données annuelles de mise à la consommation d'agro-carburants issues des déclarations relatives à la TGAP (données non publiques)
- [553] EMEP/EEA - Emission Inventory Guidebook 2013 - 1.A.3.c Railways
- [554] Buckowiecki et al. - Iron, manganese and copper emitted by cargo and passenger trains in Zürich (Switzerland): size-segregated mass concentrations in ambient air, 2006
- [555] EMEP/EEA - Emission Inventory Guidebook 2016 - 1.B.2.c -Tier 1 - Venting and flaring (p 9 - table 3-1)
- [556] Base aérienne 702 - communication de données internes, octobre 2013
- [557] Société Française de Radiothérapie Oncologique - Livre blanc de la radiothérapie en France, 2013
- [558] GTT - communication de données internes, 2013

- [559] Service statistique du Ministère en charge de l'environnement - SDES (ex SOeS et ex Observatoire de l'énergie) - Logement et construction Sit@del2 (publication annuelle)
- [560] EMEP/EEA - Emission Inventory Guidebook 2013 - 1A2 Cement production (table 3-24)
- [561] CFA - Comité Français des Aérosols - Estimation des ventes d'aérosols de crème chantilly en France et quantité de N2O contenu dans un boîtier, 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 2013 - 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 2013 - 6.C Clinical waste incineration (page 10, table 3-2)
- [573] Tinus et al. - Atmospheric Environment 61, 2012, 641-651
- [574] EMEP / EEA 2013 - 1A4 Non-road mobile source & machinery, Table 3-1 (Tier 1)
- [575] EMEP / EEA 2013 - 1A4 Small combustion, Table 3-13
- [576] EPA - AP 42 Compilation of air pollutant emission factors, version en vigueur en Août 2013
- [577] California Air resources Board - CATEF (California Air Toxics Emission Factor) - Base de données (<http://www.arb.ca.gov/ei/catef/catef.htm>), Facteurs d'émission pour les HAP
- [578] Brasseurs de France - Statistiques de vente 2006-2010 (www.brasseurs-de-france.com), novembre 2013
- [579] EMEP/EEA 2013 - Section 2.H.2 Food and beverages industry
- [580] EMEP / EEA Mai 2009 - Secteur 1A4, Tables 3-22, 3-28 et 3-20
- [583] EMEP / CORINAIR Guidebook 1996 - section B333-6
- [584] CITEPA - Technical note on BAT in iron foundry industry, 1992, page 34
- [585] EMEP / CORINAIR Guidebook 1996 - section B339-5
- [586] Guidebook EMEP/EEA 2013 Part B - Section 2C7a Copper production - Table 3.2
- [587] EPA - AP42, Janvier 1995, tableau 12.12-1
- [588] EMEP / CORINAIR Guidebook 1999 - section B427-5 à 7
- [589] EMEP / EEA 2013 - Section 2.C.7.b Nickel production, Table 3.1

- [590] GIEC - Guide sur les Bonnes Pratiques, 2003, chapitre 4, table 4.6
- [591] MEDDE - Evaluation des quantités actuelles et futures de déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités, 2002, p 51-52. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.biomasse-normandie.org/IMG/pdf/rapport.pdf>.
- [592] Mestrapports, Vlaamse Landmaatschappij - Disponibles à l'adresse suivante : <https://www.vlaanderen.be/publicaties/mestrapport>
- [593] EMEP / CORINAIR Guidebook 1996 - section B146-6
- [594] IGN - <http://inventaire-forestier.ign.fr/>
- [595] VALLET et al - Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France, 2006
- [596] ANDERSEN A. - Biomasse Normandie. Le chauffage domestique au bois - Approvisionnement et marchés. Réalisée pour l'ADEME, 1999
- [597] Les cahiers du CLIP - La ressource en bois énergie, n°3 Octobre 1994
- [598] AFOCEL - CTBA - Communication personnelle
- [599] GUERIN F. - Emission de gaz à effet de serre (CO₂,CH₄) par une retenue de barrage hydroélectrique en zone tropicale (Petit-saut, Guyane française) : expérimentation et modélisation. Thèse soutenue en 2006
- [600] DESCLOUX - EDF - Mise à jours de données de la thèse de F. GUERIN pour le barrage de Petit-Saut, 2013
- [601] DRAAF Réunion - Surfaces incendiées annuellement sur l'île de La Réunion
- [602] ONF - Université de Louvain - Analyse du réseau RENECOFOR, 2013
- [603] GIEC - Guidelines for national greenhouse gases inventories », 2006, Vol. 3 chap.4.7, paragraphe 4.7.2.2, p 4.80
- [604] Commission européenne - Règlement UE N°601/2012 du 21 juin 2012 relatif à la surveillance et à la déclaration des émissions de gaz à effet de serre au titre de la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil
- [605] ADEME - Déchets / Chiffres clés, édition 2014
- [606] GIEC - Guidelines 2006, Volume 5 Déchets, Chapitre 3
- [607] GIEC - Guidelines 2006, Volume 5, Chapitre 3, Table 3.2
- [608] MEDDE - Bureau de la Planification et de la Gestion des Déchets - Plan déchets 2014-2020, selon les hypothèses d'application du scénario de prospective tendancielle à l'horizon 2025
- [609] IGN - GEOFLA
- [610] INSEE (www.insee.fr)
- [611] IEDOM/IEOM (www.iedom.fr / www.ieom.fr)
- [612] Commission européenne - Annexe 1 aux lignes directrices DAU (TAXUD/1619/08 rev.3.4): Liste des pays de l'Union européenne, novembre 2013
- [613] GIEC - Lignes directrices 2006 pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre - Volume 3 Procédés industriels et utilisation des produits - Chapitre 2 - section 2.2
- [614] Lignes directrices du GIEC - Version 2006 - Chapitre 2 : émissions dans l'industrie minérale - tableau 2.4

- [615] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 5, Chapitre 6, Tables 6.2, 6.3, 6.4
- [616] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 5, Chapitre 6, Wastewater treatment and discharge, 6.3.1.2 choice of emission factors
- [617] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 5, chapitre 2, table 2.4
- [618] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 2, chapitre 2.1
- [619] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 5, chapitre 5, table 5.3
- [620] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 5, table 5.6
- [621] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 5, Chapitre 5, table 5.2
- [622] INSEE - Indice de la production industrielle - Produit détaillé dans les industries manufacturières
- [623] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 2, Table 2.3 (combustion stationnaire)
- [624] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 3, Combustion mobile, Table 3.3.1 et 3.2.2
- [625] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook - Table 3-24 cement production - 1A2, Edition 2013
- [626] EMEP/EEA Emission inventory guidebook - Edition 2013 - Chapitre 1.B.1.b Fugitive emissions from solid fuels ; solid fuel transformation, Section 3.2.2, table 3-1 Tier 1 emission factors
- [627] GIEC - Lignes directrices 2006, Chapitre 4, Fugitive emissions, Table 4.2.4, p4.50
- [628] EMEP / EEA 2013 - Section 1.B.2.a.v Distribution of oil products, p.17
- [629] Transport Infrastructure Gaz France (TIGF) - Données internes, avril - octobre 2014
- [630] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - Technical report N° 12/2013- 1.A.3.b.v Gasoline evaporation
- [631] OREC (Observatoire Régional de l'Energie et du Climat) créé en 2013 - Bilan énergétique de la Guadeloupe, publication annuelle
- [632] OREDD (Observatoire Régional de l'Energie et du Développement Durable) créé en 2008 - Bilan énergétique de la Guyane, publication annuelle
- [633] OMEGA (Observatoire Martiniquais de l'Energie et des Gaz à effet de serre) créé en 2013 - Bilan énergétique de la Martinique, publication annuelle
- [634] COGO Base Carbone du 19 septembre 2012 - PCI anhydre moyen du bois
- [635] IPCC - 2006 Guidelines for National Greenhouse gas Inventories - Volume 2 - chapitre 1 - table 1.2
- [637] EMEP/EEA Guidebook - edition 2013 - 1A1 Energy industries - Appendix C sulphur content in fuels - contenu en soufre du gaz de haut fourneau (blast furnace)
- [638] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - section I.8 - table 1- 4 (CO2) ; Volume 2 - tables 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 (CH4 et N2O)
- [639] Données internes Gaz de France basées sur des mesures
- [641] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 3 - Industrial Processes and product Use - Chapter 1: Introduction
- [642] EMEP/EEA guidebook, 1A3b road transport, version 2013 updated 09/2014
- [643] Commission Européenne - BREF Incinération des déchets p406 et 412 - Août 2006
- [644] Direction générale des douanes - importation et exportation d'urée - Donnée annuelle <https://lekiosque.finances.gouv.fr>

- [645] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - Chapitre 3 Combustion sources mobiles, Table 3.3.1
- [646] IPCC - Guidelines 2006 - Volume 2 - Chapitre 2 Combustion sources fixes, Table 2.5
- [647] EMEP EEA Guidebook - mai 2009 - Secteur 1A4, table 3.22
- [648] F2 Chemicals - Communication de données internes annuelles
- [649] ADEME - Déclaration des flux de SF6 dans le secteur des équipements électriques
- [650] Oko-Recherch - « SF6 Bestand und Emissionen aus Teilchenbeschleunigern », 2012
- [651] INRA - communication de données internes, 2014
- [652] IRSN - communication de données internes, 2014
- [653] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 5, section 5.2.2.2
- [654] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 5, section 5.3.2.2
- [655] Aubert et Coutelet, 2013, Les rejets d'azote et de phosphore par les élevages de lapins : évolution et perspectives. TeMA n°28 - octobre/novembre/décembre 2013
- [656] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 10
- [657] CIV, 2012. Alimentation des bovins : rations moyennes et autonomie alimentaire
- [658] INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins - Besoins des animaux - Valeurs des aliments - Tables INRA 2007
- [660] MeteoFrance, www.meteofrance.com
- [661] Ecosecurities - CITEPA, 2007. Méthodologie spécifique pour les projets de Méthanisation des effluents d'élevage
- [662] Enquêtes TERUTI, 1992-2003, Service Statistique et Prospective du Ministère de l'Agriculture.
- [663] La culture du riz en Camargue <http://www.rizdecamargue.com/section/culture/une-r%C3%A9gion-un-m%C3%A9tier>
- [666] Bilan de l'énergie Outre-mer annuel compilé par le CITEPA
- [667] Gasoline Aviation Designation, DERD 2485, 91-90/Issue 1, 8 May 1996
- [668] Edition annuelle du Bilan RSE SNCF
- [669] GIEC - Guidelines 2006, Volume 2, Chapitre 3
- [670] Commission des Comptes et Transports de la Nation (CCTN), Les transports, éditions annuelles. Section transport de marchandises - Tableau E.4.c
- [671] EMEP/EEA Emission inventory Guidebook 2013, Navigation section
- [672] GIEC 2006 - Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Vol. 4
- [673] IGN - ONF Suivi de l'occupation du sol et des changements d'occupation du sol entre 1990 et 2012, Novembre 2014
- [674] Carbone 4. Méthode opérationnelle de comptabilisation des produits-bois dans l'inventaire national GES, Juin 2014.
- [675] Emission factors for heavy metals from diesel and petrol used in European vehicles - Table 6. Atmospheric environment 61 (2012) 641-651. Pulles et al.

- [676] Guide méthodologique E-PRTR de déclaration des rejets polluants des sites thermiques à flamme
- [677] CONCAWE - Air Pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries, 2009 edition, HAP unece pour le gaz de raffinerie (p78 - table 29)
- [678] Guidebook EMEP-2009 p.122
- [679] Caractéristiques des gisements de gaz naturel
<http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/archives/donnees%206eme%20edition%201994/produits%20organiques/gaznaturel.htm>
- [681] Emissions of Black carbon and Organic carbon in Norway 1990-2011
- [682] FE CO2 par défaut du transport aérien, CENWG10 EG 5 : "Default values for air transport" - FNAM, Date: 11/02/2010
- [683] CEFIC - European Chemical Industry Council. Communication de données sectorielles pour le nettoyage à sec et le dégraissage.
- [684] INSEE - Données statistiques sur les productions de produits à base de solvants ou aqueux (peintures, encres, etc.) (ProdFRA de l'année 2009 à n-1)
- [685] Direction générale des douanes et droits indirects - Données imports/exports
- [686] ADEME - Panorama du marché du polyuréthane et état de l'art de ses techniques de recyclage (février 2014)
- [687] CITEPA - Mise à jour des données relatives aux moyens de réduction des émissions de pentane issues de la transformation du polystyrène expansé. Citepa, 2015
- [688] ADEME - Observatoire des Fluides Frigorigènes
- [689] Etude isOlafrance sur la production de polyuréthane projeté <http://www.association-technique-polyurethane-projete.fr/>
- [690] BASF - Communication confidentielle annuelle
- [691] Lignes directrices du GIEC 2006 - Volume 3 - Chapitre 7 - Tableaux 7.6 et 7.7
- [692] GIFAM - Communication confidentielle annuelle
- [693] Siemens - informations sur le taux d'émission de HFC lors du recyclage
- [694] DuPont - Communication annuelle de données internes
- [695] Solvay - Communication annuelle de données internes
- [696] Schneider Electric - taux de perte vidange du SF6 des équipements en fin de vie
- [697] BORT R., ANDRE J-M., SERVEAU L. - Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère d'une zone aéroportuaire à l'exception des aéronefs - CITEPA, 2013
- [698] SSP - AGRESTE. PRODCOM - Production commercialisée des produits des IAA. Données téléchargeables sur : <https://stats.agriculture.gouv.fr/disar-web/accueil.disar>
- [699] Projet CORTEA EMICER : Estimation des émissions liées à la manutention et au séchage des céréales. Note du CITEPA 2015
- [701] MEDDE /CGDD /Ministère des Travaux Publics, des Transports et du Tourisme/SES. Mémento de statistiques des transports – Résultats de 1980 à 2014, éditions bisannuelles. Chapitre 6 Navigation intérieure – Tableau 6.5.1.
- [704] Institut de l'élevage - Communication des poids moyens relatifs aux ovins en France. 2015

- [705] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 3, chap. 3, page 3.75
- [706] IFA - FAO - Estimation des émissions gazeuses de NH₃, NO et N₂O par les terres agricoles à l'échelle mondiale - édité en 2003
- [707] MAAPRAT / SSP - Résultats des Enquêtes Pratiques Culturelles 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://eu soils.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_D_E_FORET_dossier_de_presse.pdf"
- [725] "Feux de végétation - d'après l'état 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 - Programme de recherche de l'ADEME sur les émissions atmosphériques 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 2013 - 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 Résiduaire Urbaines

- [753] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 2A1 Cement production - table 3.1
- [754] US EPA - AP 42 - 5ème édition, Volume 1 - Chapter 11.6 : portland cement manufacturing
- [755] IIASA - A framework to estimate the potential and costs for the control of fine particulate emissions in Europe, Interim Report IR-01-023 - 2001.
- [756] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1A2 Manufacturing industries and construction - table 3.3 Tier 1 emission factor for 1A2 combustion in industry using gaseous fuels
- [757] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 2A3 Glass Production, tables 3.2 à 3.7
- [758] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 2A2 Lime Production, table 3.1
- [759] <http://outils.ifip.asso.fr/CritStand/CourbeCroit/Default.aspx>
- [760] Agreste, 1999. La cuniculture française - Enquête cuniculture 1994. Les cahiers de l'Agreste novembre 1999 n° 42 et 43.
- [761] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1.A.2 Manufacturing industries and construction (combustion), tables 3-2 à 3-5
- [762] Methodology report on the calculation of emissions to air from the sectors Energy, Industry and Waste, as used by the Dutch Pollutant Release and Transfer Register - National Institute for Public Health and the Environment - RIVM Report 2016-0055 - page 48
- [763] GIEC - Guidelines 2006, Volume 3, Chapitre 2, Industrial industry - Table 2.1
- [764] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1.A.1 Energy industries, table 3-2 Tier 1 emission factors for source category 1.A.1.a using hard coal
- [765] HOULLIER C. et CROZET B. - Analyse critique des méthodes utilisées par différents pays pour établir leurs inventaires nationaux d'émissions de dioxyde de carbone - mai 1992, CITEPA
- [766] Rapport CARBOFOR - teneur moyenne en carbone du bois (page 65), Juin 2004
- [767] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1.B.1.b Fugitive emissions from solid fuels - Solid fuel transformation, Table 3-1 Tier 1 emission factors for source category 1.B.1.b Solid fuel transformation
- [768] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 1.A.1 Energy industries, table 3-5 Tier 1 emission factors for source category 1.A.1.a using heavy fuel oil
- [769] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 2.C.1 Iron and steel production, Table 3.1 Tier 1 emission factors for source category 2.C.1 Iron and steel production
- [770] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, section 2.C.2 Ferroalloys production, Table 3.1 Tier 1 emission factors for source category 2.C.2 Ferroalloys production
- [771] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 3_1_Chapitre 1_Introduction, Box 1.1
- [772] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 3_5_Chapitre 5_Non energy products from fuels and solvent use, paragraphe 5.5 Solvent use
- [773] EDF - Electricité de France - rapport annuel « Développement Durable »
- [774] Enertime - Base de données système ORC en France, 2016
- [775] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Table 3-28 p63 et Table 3-30 p65

- [776] Communication personnelle de COOP de France Déshydratation sur les données de production et de consommation d'énergie pour le secteur de la déshydratation de fourrage vert
- [777] Méthode de Quantification des Flux Annuels des Unités de Déshydratation des Fourrages pour les Polluants du Registre E-PRTR - Etude LRD/Citepa - Février 2021 - ETUDE CONFIDENTIELLE
- [778] Rapport de synthèse réglementaire - Impact du préfanage à plat sur les rejets de polluants atmosphériques des installations du secteur de la déshydratation - Etude LRD/CITEPA - Juillet 2010 - ETUDE CONFIDENTIELLE
- [779] MISE A JOUR DU FACTEUR D'EMISSION DES COVNM DES INSTALLATIONS DE DESHYDRATATION DE FOURRAGE UTILISE DANS LE CADRE DE L'ARRETE GEREP - CITEPA pour COOP de France - Avril 2016 - ETUDE CONFIDENTIELLE
- [780] Compte rendu du CITEPA (Laëtitia SERVEAU) de la réunion dans les locaux de COOP de France déshydratation avec Yann MARTINET du 24 août 2016
- [781] Données communiquées par COOP de France déshydratation (Yann MARTINET) par mail le 20 juillet 2016
- [782] Mail reçu de COOP de France déshydratation (Yann MARTINET) du 24/08/2016 sur deux rapports d'essai réalisés sur les particules en termes de granulométrie - ETUDE CONFIDENTIELLE
- [783] Méthode GRDF pour déterminer les émissions de méthane du Réseau de distribution de gaz naturel en France
- [784] Méthode GRTgaz pour déterminer les émissions de méthane du Réseau de transport de gaz naturel en France, GRTgaz, 17/10/2016
- [785] Méthode TIGF pour déterminer les émissions de méthane du Réseau de transport de gaz naturel en France, TIGF, mail 04/14/2016
- [786] Evaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. RMT Elevages et Environnement, 2015, Paris, 26 pages.
- [787] Guide EMEP/EEA 2013 - Chapitre 1A3a - Aviation
- [788] "Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP). Observatoires volcanologiques
<http://www.ipgp.fr/fr/ovpf/activite-recente-piton-de-fournaise>
http://www.ipgp.fr/sites/default/files/liste_activite_fournaise_1998_2016_0.pdf
<http://www.ipgp.fr/fr/ovsg/soufriere-de-guadeloupe>
<http://www.ipgp.fr/fr/ovsm/montagne-pelee>"
- [789] Agreste, L'essentiel du recensement agricole 2010 - Mayotte
- [790] Schéma directeur de l'aménagement agricole et rural de Mayotte, 2009.
- [791] FAO, Evaluation des ressources forestières mondiales 2010 - Mayotte
- [792] Base de données OMINEA
- [793] Rigolot C., Espagnol S., Pomar C., Dourmad J.Y., 2010a. Modelling of manure production by pigs and NH3, N2O and CH4 emissions. Part I: animal excretion and enteric CH4, effect of feeding and performance. Animal, 4, 1401-1412
- [794] SAUVANT D., GIGER-REVERDIN S. - « Modélisation des interactions digestives et de la production de méthane chez les ruminants » - INRA Prod. Anim., 22, 2009, 375-384
- [795] SIMPSON D. Inventorying emissions from nature in Europe. Journal of Geophysical Research. 1999

- [796] EUGENE M., MANSARD L. - Rapport final du projet MONDFERENT 2 « Emissions de méthane entérique et MOND des petits ruminants en France », 2015, non publié.
- [797] EUGENE M., MANSARD L. - Outil de calcul accompagnant le rapport du projet MONDFERENT 2 «Emissions de méthane entérique et MOND des petits ruminants en France», 2015, non publié.
- [798] Base de données SINOE - ADEME
- [799] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 11
- [800] Groot Koerkamp, 1993. Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling.
- [801] Acquisition de facteurs d'émissions d'ammoniac en élevages de volailles - Rapport final. ITAVI/ADEME. 11 décembre 2015. P. 30/45
- [802] Clement and Tashiro (1991). Forest fires as a source of PCDD and PCDF. 11th International Symposium on Chlorinated dioxins and related compounds, 1991
- [803] Analyse du potentiel de 10 actions de réduction des émissions d'ammoniac des élevages français aux horizons 2020 et 2030. ADEME. Juillet 2013
- [804] Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol
- [805] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 5
- [806] RTE Guyane - Référentiel Technico-Economique agricole, 2002 et 2012
- [807] Fiches d'Itinéraires Technique - Chambre d'Agriculture de Martinique, 2014
- [808] Base de données Corine Land Cover, Agence Européenne pour l'Environnement
- [809] Options for Ammonia Mitigation - Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen
- [900] EMEP 2016, Chapitre 3D - Crop production and agricultural soils.
- [901] Composition des effluents porcins - Institut Technique du Porc, 2005
- [902] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 2
- [903] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 2, Chapitre 3.6
- [904] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear
- [906] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Update July 2017 - 1.A.3.a Aviation
- [907] Données locales d'énergie (gaz) - https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-locales-denergie/#_
- [908] Données locales d'énergie (électricité) - https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-locales-denergie/#_
- [910] Réseau RASTA (Réseau d'Aides Scientifiques et Techniques des Accélérateurs) - <http://rasta.free-hosting.fr/partenaires>
- [912] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 11.C Other natural sources B111000 Lightning 2016
- [913] INSEE - Code officiel géographique au 1er janvier 2017 - <https://www.insee.fr/fr/information/2666684#titre-bloc-23>
- [914] JO (UE) - RÈGLEMENT (UE) 2016/2066 DE LA COMMISSION du 21 novembre 2016 - <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R2066&from=FR>

- [915] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.3.c Railways
- [916] INSEE - Statistiques ProdFRA de 2008 à année N-1 - production d'éthanol (codes 2014740000-Alcool éthylique non dénaturé, >= 80 % en volume, non rectifié et 2014750000-Alcool éthylique et eaux de vie dénaturés, de tous titres)
- [917] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2H2 Food and Beverages industry, table 3-7 FE COVNM de la fermentation
- [918] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 1999 - Group04 Production process, page B4510-4, table 8.1
- [919] EMEP EEA Guidebook version 2013 - 2B Chemical Industry, tables 3-41 et 3-42 (FE poussières)
- [920] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2A1 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
- [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 2016- Chapter 2H1 Pulp and paper industry - Tier 2 (table 3.2, 3.3 et 3.4)
- [926] BREF "pulp and paper production" - Best available techniques (BAT) - Reference document for the production of pulp, paper and board - 2015
- [927] Décision du 26/09/2014 établissant les conclusions sur les MTD pour la production de pâte à papier, de papier et de carton
- [928] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2A5c - storage, handling and transport of mineral products
- [929] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2A2 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
- [930] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 2.C.7.a Copper production - Section 3.3.2 Technology-specific emission factors - Table 3-2 and 3-3
- [931] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.B.2.c Venting and flaring, table 3-1
- [932] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.1 Energy industries, tables 4-5 et 4-6, FE TSP pour le gaz naturel et le FOD
- [933] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.1 Energy industries, tables 4-8, FE BC pour les moteurs au FOD
- [934] Concawe - report 9/16 Emission factors for metals from combustion of refinery fuel gas and residual fuel oil - Table 1 pour le gaz de raffinerie
- [935] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1A4 Non-road mobile sources and machinery, table 3-1 (Tier 1)
- [936] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-4 / 3-7 / 3-11 / 3-19, FE 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 2016 - 1.A.1 Energy industries, tables 3-2 / 3-4 / 3-5 / 3-6, FE CO et COVNM
- [940] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.4 Small combustion, tables 3-29 / 3-30 / 3-31 / 3-37 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 2016, section 2.D.3.i, 2.G Other solvent and product use, table 3-5
- [942] INSEE - Données statistiques sur les productions de produits inorganiques (ProdFRA de l'année 2009 à n-1)
- [943] FAO - site internet FAOSTAT - Statistiques sur la production d'engrais phosphatés
- [944] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Chapter 1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction - Table 3-17
- [945] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.B Chemical industry, table 3.7
- [946] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.B Chemical industry, table 3.30
- [947] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Section 2.C.7.b Nickel production - Table 3.1
- [948] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Section 2.B.10.a other chemical industry - Table 3.35
- [949] République Française - Circulaire du 14 avril 1962 relative à l'évacuation et au traitement des ordures ménagères
- [950] 2006 IPCC Guidelines, Volume 3 chapter 4 table 4.7 (pp 4.39)
- [951] Best Available Techniques (BAT) Reference (BREF) Document for Iron and Steel Production - 2013
- [952] Norme NF EN 1964-2 - Détermination des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans les industries énérgo-intensives - Partie 2 : Industrie sidérurgique (17 septembre 2016)
- [953] 2006 IPCC Guidelines, Volume 3 chapter 4 - Metal Industry - table 4.3
- [954] Hans Oonk, C. Lambert, I. Cakars, M. Havranek - GHG emissions from biological treatment of waste - Overview of existing measurements, Oonk & al., Mars 2017
- [955] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.B.1.a Fugitive emissions from solid fuels: Coal mining and handling, table 3.6
- [956] Statistiques des services d'incendie et de secours (SDIS)
- [957] Statistiques de la Fédération Forge et Fonderie
- [958] USGS, Minerals Yearbook - Ferromanganese and silicomanganese : world production by country
- [959] 2006 IPCC Guidelines, Volume 3 chapter 4 - Metal Industry - table 4.5 - pp 4.37
- [960] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Section 3B Manure Management

- [961] Institut de l'élevage, juin 2014. Alimentation des ovins : rations moyennes et niveaux d'autonomie alimentaire.
- [962] INRA, Projet C-SOPRA (Prédiction des impacts des pratiques culturales sur le stockage et déstockage de C organique en sols agricoles) (2020).
- [963] INRA, Etude 4 pour 1000 (Le potentiel de l'agriculture et de la forêt françaises en vue de l'objectif d'un stockage de carbone dans les sols à hauteur de 4 pour mille) (2019).
- [964] Riziculture - La paille de riz Camarguaise - Pratiques au champ et filières de valorisation pour un développement durable. Inra, Cemagref, 2009.
- [965] Base de Données d'Analyses des Terres - BDAT, GIS SOL.
- [966] Hassouna M., Meda B., Chantal A., Dourmad J-Y., Garcia Launay F. Excretions of organic matter and nitrogen of poultry and pig productions to assess gas emissions, MONDFERENT 2. Novembre 2015, non publié
- [967] EMEP / EEA emission inventory guidebook, 2016, 3F Field burning of agricultural residues
- [968] US EPA - AP 42 - 5ème édition, Volume 1 - Chapter 1.6 : Wood Residue Combustion In Boilers - table 1.6-3
- [969] Institut National du Cancer - L'essentiel de la radiothérapie en France en 2016
- [970] EMEP / EEA emissions inventory guidebook 2016, 1.B.2.c Venting and flaring, Table 3-4 Tier 2 emission factors for source category 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in oil refineries, p12
- [971] EMEP / EEA emissions inventory guidebook 2016, 2.B.6 Titanium dioxide production, chloride process - Table 3.21 Tier 2 emission factors for source category
- [972] CITEPA - Emissions de COV issues des stations-service, 2007, p105 et p145
- [973] Guide EMEP/EEA 2016, 1.B.2.a.v Distribution of oil products, Table 3-15, p.17-18-20
- [974] DSECE - Données d'importation et d'exportation - https://lekiosque.finances.gouv.fr/portail_default.asp
- [975] Rapports annuels IEOM - Institut d'Emission des départements d'Outre-Mer (<http://www.ieom.fr/ieom/publications/>)
- [976] ONFi Luc Durrieu de Madron Évaluation de la biomasse à St Pierre et Miquelon en Nouvelle Calédonie, à Wallis et Futuna Paris, 14 mai 2009].
- [977] Bélanger et al. 2008. Rapport de mission sur l'état des bois de l'archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon.
- [978] Marianne Rubio (ONF), Inventaire national des GES du secteur UTCF pour les territoires d'outre-mer - Polynesie française. 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. Annuaire ECUS.
- [986] EUGENE M., SAUVANT D., NOZIERE P., VIALARD D., OUESLATI K., LHERM M., MATHIAS E., DOREAU M. A new Tier 3 method to calculate methane emission inventory for ruminants. *Journal of Environmental Management* 231 (2019) 982-988.
- [987] Communication annuelle ITAVI. Données d'effectifs des poulets de chair par mode de production (export, standard, lourd, CCP, bio, label rouge) et des poules pondeuses par mode de production (au sol, bio, en cage, label rouge, plein air).
- [988] Sampère, J. 2017. Mise en place d'un protocole d'estimation des changements d'occupation des sols sur le territoire de France métropolitaine. Mémoire de Master 2 Environnement : Dynamiques des territoires et des sociétés, sous la direction de M. Cohen et C. Robert. 94p.
- [989] Levasseur 2003, 2006. Etat des lieux du traitement des lisiers de porcs en France
- [990] Lessirard 2007. La filiere porcine francaise et le developpement durable
- [991] Bilan UGPVB. Données 2013 : 421 stations de traitement de lisier de porc en service. Enquête auprès des groupements de producteurs de porcs
- [992] UGPVB 2016, 2017. Rapport d'activité
- [993] Canaveira, P., Manso, S., Pellis, G., Perugini, L., De Angelis, P., Neves, R., Papale, D., Paulino, J., Pereira, T., Pina, A., Pita, G., Santos, E., Scarascia-Mugnozza, G., Domingos, T., and Chiti, T. (2018). Biomass Data on Cropland and Grassland in the Mediterranean Region. Final Report for Action A4 of Project MediNet
- [994] Roux, A., Dhôte, J. F., Achat, D., Bastick, C., Colin, A., Bailly, A., & Schmitt, B. (2017). Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique. Une étude des freins et leviers forestiers à l'horizon, 2050, 101.
- [995] LAGADEC S., LANDRAIN P., BELLEC F., MASSON L., DAPELLO C., GUINGAND N., 2015. Enquête sur 31 laveurs d'air de porcherie en Bretagne, clés d'amélioration de l'efficacité sur l'abattement de l'ammoniac. Journées de la Recherche Porcine en France, 47:177-182.
- [996] Pignard, G. et J. L. Dupouey (2000). "Carbon stocks estimates for french forests." *Biology Agronomy Society and Environment* 4(4): 285-289
- [997] PUIG H., J.P. DELOBELLE (1988). Production de litière, nécromasse, apports minéraux au sol par la litière en forêt guyanaise, *Revue écologie (Terre Vie)*. 43: 3-22 p.
- [998] "Meersmans, Manuel Martin, Lacarce, De Baets, Jolivet, et al.. A high resolution map of French soil organic carbon. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2012, 32 (4), pp.841-851."
- [999] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Update July 2018 - 1.A.3.b.i-iv Road transport
- [1000] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Update April 2018 - 1.A.3.b.v Gasoline evaporation
- [1001] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.C.5
- [1002] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 2.C.6
- [1003] Concawe - report 4/17 Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries - Values for 'Destruction of a gaseous stream - EF for fuel gas in a furnace'

- [1004] Note de l'ADEME - Proposition d'évolution des facteurs d'émission 1 à 20MW. 18/03/2019
- [1005] Note technique de faisabilité pour l'évolution de la méthodologie du calcul des émissions de NOx des chaudières résidentielles au fioul et gaz naturel, Citepa, 2019.
- [1006] Energi- og Miljødata, Dansk Gasteknisk Center, November 2009
- [1007] Etude Granulés de Bois 2020, France Bois Forêt, Syndicat National des Producteurs de Granulés de Bois, FNB, Février 2013
- [1008] Etude sur le chauffage domestique au bois : Marchés et Approvisionnements, CNA Climat Air Energie, Octobre 2018
- [1009] Propellet Event 2018, la filière granulés de bois prépare la forte croissance de son marché, bioenergie-promotion.fr, Juillet 2018
- [1010] EMEP/EEA - 2.A.5.a Quarrying and mining of minerals other than coal 2019
- [1011] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry 2019 - Table 3.39 and Table 3.40, p40 et p41
- [1012] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry 2019 - Table 3.45, Table 3.46 and Table 3.47, p46 et p47
- [1013] "Base de données statistique FAO : <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/FO>
codes produits : 1646, 1649, 1697, 1606, 1648"
- [1014] "Base de données PRODCOM (EUROSTAT) - PRCCODE 20511300 - Articles pour feux d'artifice
Production vendue, exportations et importations par liste PRODCOM (NACE Rév. 2) - données annuelles [DS-066341]"
- [1015] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2016/2019 Part B 2.D.3i-2G Other solvent and product use, Tobacco combustion
- [1016] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2016/2019 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] Sauvart 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 2016 - 2.B Chemical Industry 2016 - Table 3.6
- [1056] EMEP / EEA emission inventory guidebook, 2019, 3F Field burning of agricultural residues
- [1057] Club Biogaz, Association Technique Energie Environnement - Présentation sur le devenir des digestats, 2019
- [1058] Association AILE, Etat des lieux de la méthanisation en Bretagne et Pays de la Loire au 1er janvier 2020
- [1059] JRC - Map to limit area for leaching - Revue ESD 2019
- [1060] EMEP 2019, Chapitre 3D - Crop production and agricultural soils
- [1061] Enquête annuelle de production dans l'industrie PRODFRA : production de charbon de bois (y compris charbon de coques ou de noix), même aggloméré
- [1062] Données fournies par l'UNGDA - Union Nationale des Groupements de Distillateurs d'Alcool
- [1063] Guidebook Corinair, part 6 - second edition - 1992, page 6
- [1064] EMEP 2019, section 2A1 Cement production - table 3.1
- [1065] EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook - table 3-24 - cement production - 1A2, Edition 2019
- [1066] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 2A3 Glass Production, tables 3.2 à 3.7
- [1067] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 2A2 Lime Production, table 3.1
- [1068] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Chapter 2A2 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
- [1069] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Chapter 2A3 - Section 3.2.2 Default emission factors - Table 3.1
- [1070] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Chapter 2A5c - storage, handling and transport of mineral products
- [1071] EMEP/EEA/2016 - Chapter 5.A Biological treatment of waste - Table 3-1

- [1072] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Chapter 5-D , Table 3-1
- [1073] BIPE - Les services publics d'eau et d'assainissement en France - Editions depuis 2006
- [1074] PRODCOM - Statistiques sur la production de produits manufacturés - eurostat (codes produit : 20147400 et 20147500)
- [1075] GRTgaz - Communication annuelle des émissions nationales de CH4 au CITEPA
- [1076] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2.B Chemical industry, table 3.7
- [1077] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1a4 Non-road mobile sources and machinery - Table 3.6, EF Tier 3
- [1078] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C5 Lead production
- [1079] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C3 Aluminium production
- [1080] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C6 Zinc production
- [1081] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 1A2 Manufacturing industries
- [1082] Commissariat général au développement durable - Production et traitement des déchets en France
- [1083] INERIS - Emissions de Bibenzodioxines et dibenzofuranes lors de la combustion de cables électriques - 1999
- [1084] INERIS - Emissions atmosphériques de dioxines et de furanes bromées lors de feux accidentels de déchets contenant des substances bromés
- [1085] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019, Part B section 2C7a Copper production - Section 3.3.2 Technology-specific emission factors - Tables 3-2 and 3-3
- [1086] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Part B section 1A2 Combustion in manufacturing industries and construction - Table 3-13
- [1087] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Part B section 2C2 Ferroalloys production
- [1088] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Part B section 2C7b Nickel production - Table 3.1
- [1089] EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 - Part B section 2D3c Asphalt roofing
- [1090] GIFAM - Chiffres clés annuels par équipement
- [1091] WHIRLPOOL - Communication interne
- [1092] Eurocave - Communication interne
- [1093] Enquête terrain Citepa - fluide frigorigène équipements domestiques
- [1094] Revue spécialisée Entreprendre - "Cave à vin : EuroCave leader mondial... et 100 % made in France" - 29/10/2014
- [1095] Lignes directrices du GIEC 2006 - Volume 3 - Chapitre 7 - Tableaux 7.9
- [1096] ADEME - Rapports annuels Equipement Electriques et Electroniques
- [1097] CCFA - Rapports annuels Analyse statistiques
- [1098] PSA - Communication interne
- [1099] Renault - Communication interne

- [1100] Scania - Communication interne
- [1101] Iveco - Communication interne
- [1102] CGDD - Chiffres clés du transport - Edition 2019
- [1103] RATP - Communication interne
- [1104] Base Behr Hella Service - Quantité de remplissage d'huile et réfrigérant VL/VUL/PL
- [1105] NRF - Airconditioning Filling Chart - R134a/R1234yf
- [1106] RTOC 2014 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee
- [1107] RTOC 1998 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee
- [1108] RTOC 2010 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee
- [1109] RTOC 2006 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee
- [1110] ADEME - Rapports annuels Automobile (VHU)
- [1111] ADEME - Audit des plate-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts, d'eaux de ruissellement et bilan des aides ADEME au compostage de déchets verts - Mars 2007
- [1112] Panorama du gaz renouvelable - Publication annuelle - GRDF, GRTgaz, Syndicat des énergies renouvelables, SPEGNN, Teréga
- [1113] Fédération Française de Carrosserie (FFC) - Communication interne
- [1114] Petit Forestier - Communication interne
- [1115] Container Handbook
- [1116] European Partnership for Energy and the Environment - Communication interne
- [1117] RTOC 2002 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee
- [1118] Lignes directrices du GIEC 1996 - Volume 3 - Chapitre 2.17
- [1119] Nielsen - Retour sur 40 ans de distribution française
- [1120] INSEE - Les points de vente du commerce de détail 1982 à 1992
- [1121] INSEE - Base de données : évolution du commerce 1992 - 2004
- [1122] INSEE - Base de données : hyper super 2004 à 2009
- [1123] INSEE - Enquête d'établissement dans le commerce 1980
- [1124] ACOSS - Les dénombrements annuels selon la NAF 732
- [1125] LSA - Communication interne
- [1126] Perifem - Communication interne
- [1127] Mines ParisTech - La F-GasII et son impact sur les émissions de fluides frigorigènes en France à l'Horizon 2035 - S. Barrault, M. NEMER
- [1128] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1a4 Non-road mobile sources and machinery - Table 3-1, EF Tier 1
- [1129] Uniclimate - extractions annuelles de données internes

- [1130] Informations d'experts - Daikin et Denis Clodic
- [1131] AFPAC - La Pompe à Chaleur : De nos ambitions 2030 à nos perspectives 2050 - Mars 2018
- [1132] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear
- [1133] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.d Navigation -shipping
- [1134] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.b.i-iv Road transport
- [1135] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, section 2.C.1 Iron and steel production, Table 3.1 Tier 1 emission factors for source category 2.C.1 Iron and steel production
- [1136] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, V3, Ch4, Metal industry
- [1137] Union des Aéroports Français (UAF), Données des vols non commerciaux (www.aeroport.fr)
- [1138] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Section 3B Manure Management
- [1139] 1788 - Inventaire régional Polynésie française, Citepa. 2020.
- [1140] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.c Railways
- [1141] MTE/CGDD/SDeS : rapport annuel du Bilan annuel des transports
- [1142] International Civil Aviation Organization (ICAO) Carbon Emissions Calculator Methodology, Version 11, June 2018 (<https://www.icao.int/>)
- [1143] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.a Aviation
- [1144] Airport Air Quality Manual. First Edition – 2011. International Civil Aviation Organization (www.icao.int)
- [1145] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Section 5B2 Biological treatment of waste - anaerobic digestion at biogas facilities
- [1146] Convention MARPOL de l'OMI (Organisation maritime internationale), Annexe 12 : RESOLUTION MEPC.251(66)
- [1147] Convention MARPOL de l'OMI (Organisation maritime internationale), Annexe 13 : RESOLUTION MEPC.176(58)
- [1148] Directive (UE) no 2003/44 du Parlement européen et du Conseil du 20 novembre 2013 relative aux bateaux de plaisance et aux véhicules nautiques à moteur.
- [1149] EU Fleet Register : https://webgate.ec.europa.eu/fleet-europa/index_en
- [1150] STECF (Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries): <https://stecf.jrc.ec.europa.eu/index.html>
- [1151] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), statistics Division, <http://www.fao.org/faostat/fr/#home>
- [1152] Annuaire du Syndicat National des patinoires, <https://www.syndicatdespatinoires.com/annuaire/>
- [1153] Global inventories and direct emission estimations of greenhouse gases of refrigeration systems, Sabine Saba, Ph. D; Thesis MINES-ParisTech December 2009
- [1154] ADEME, Rapport annuel de l'Observatoire des fluides frigorigènes et gaz fluorés
- [1155] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 -1.A.3.b.v Gasoline evaporation

- [1156] Service statistique du Ministère en charge de l'environnement - SDES. Données et études statistiques: Parc de voitures selon la vignette Crit'air
- [1157] AURA-EE (AURA Energie Environnement), Cartographie des unités de méthanisation, 2017.
- [1158] ADEME Bourgogne Franche-Comté, Etat des lieux de la méthanisation en Bourgogne-Franche-Comté, chiffres et repères, mars 2017.
- [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, Enquête pour l'année de production en 2018, publication en 2020.
- [1169] EMEP/EEA 2019 - Section 2.H.2 Food and beverages industry
- [1170] OFDT - drogues et addictions dans les Outre-mer, juin 2020
- [1171] ORS Réunion - Lettre n° 30 - les chiffres clés du tabagisme à La Réunion, 29 octobre 2021
- [1172] INSEE - Statistiques ProdFRA de 2008 à année N-1 sur la fabrication de savons, détergents et produits d'entretien, de parfums et de produits pour la toilette, d'huiles essentielles
- [1173] RIVM, 2006, Cleaning Products Fact Sheet
- [1174] RIVM, 2006, Cosmetics Fact Sheet
- [1175] EUROPEAN COMMISSION, 2002, Screening study to identify reductions in VOC emissions due to the restrictions in the VOC content of products; http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/paint_solvents/2002_02_bipro_final_report.pdf.
- [1176] THELOKE J., 2005, NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung und Möglichkeiten zu ihrer Minderung
- [1177] ARCADIS, 2010, NMVOC emissions through domestic solvent use and the use of paints in the Brussels Capital Region
- [1178] RIVM, 2018, Cleaning Products Fact Sheet
- [1179] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 - secteur 1A1b - SNAP 010301/010302/010306 - FE NOx - tables 4-2 à 4-6

- [1180] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 - secteur 1A1b - SNAP 010305 - FE NOx - tables 4-7 et 4-8
- [1181] EMEP / EEA Guidebook, Edition 2019 - secteur 1A1a - SNAP 010304 assimilée à SNAP 010104 et 010105 - FE NOx - tables 3-17 et 3-18
- [1182] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 4-5 et 4-6, FE TSP pour le gaz naturel et le FOD
- [1183] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.1 Energy industries, tables 4-8, FE BC pour les moteurs au FOD
- [1184] "EMEP/EEA - Emission Inventory Guidebook 2016 - 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in oil and gas extraction (p 7 - table 3-1)"
- [1185] "EMEP/EEA Emissions Inventory Guidebook 2019 - 1.B.2.c Venting and flaring, Flaring in oil refineries (p11 - Table 3-4)"
- [1186] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Table 3-28 p63 et Table 3-30 p65
- [1187] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.B.1.a Fugitive emissions from solid fuels: Coal mining and handling, table 3-2, 3-3 et 3-6
- [1188] EMEP / EEA 2013 - Section 1.B.2.a.v Distribution of oil products, table 3-10 et 3-11
- [1189] Guide EMEP/EEA 2016, 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](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 enquête operationele stand van zaken mestverwerking in vlaanderen, Vlaamse coördinatiecentrum 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 2019 - Chapitre 5E - Tables 3-3 ; 3-4 ; 3-5 ; 3-6
- [1199] INSEE - Les conditions de logement en France - Edition 2017
- [1200] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1-a-4-small-combustion - Table 3.6 - Tier 1 emission factors for NFR source category 1.A.4.b, using biomass
- [1201] Vancutsem, C., Achard, F., Pekel, J. F., Vieilledent, G., Carboni, S., Simonetti, D., ... & Nasi, R. (2021). Long-term (1990-2019) monitoring of forest cover changes in the humid tropics. Science Advances, 7(10), eabe1603

- [1202] Tanneberger F., Moen, A., Joosten, H., & Nilsen, N. (2017). The peatland map of Europe. *Mires and Peat*. 2017, 19 (22), 1-17
- [1203] Copernicus (Commission européenne / AEE), données High Resolution Layers, disponible en ligne : <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers>
- [1204] Agence de Services et de Paiements (ASP), données du Registre Parcellaire Graphique (RPG), base de données géographiques servant de référence à l'instruction des aides de la politique agricole commune (PAC). Données annuelles depuis 2007 disponibles en ligne : <https://geoservices.ign.fr/rpg>
- [1205] DONNEE Surfaces potentiellement brûlées MODIS Quasi-Temps réel (MCD14DL) <https://geoportail.oeil.nc/geoportal/catalog/>
- [1206] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 2H2 Food and Beverages industry, table 3-7 FE COVNM de la fermentation
- [1207] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Part B section 2D3b Road paving with asphalt
- [1208] GIEC - Lignes directrices 2006, Volume 3, Chapitre 4, section 4.4.2.1
- [1209] Directive 97/68/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 1997 sur le rapprochement des législations des États membres relatives aux mesures contre les émissions de gaz et de particules polluants provenant des moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers



© Citepa 2022
www.citepa.org
infos@citepa.org
42, rue de Paradis
75010 PARIS